

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí nátěrovými  
hmotami s obsahem zinkového prachu**

Corrosion Protection of Steel Structures with Paints Containing  
Zinc Dust

Student:

Tomáš Grmela

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Grmela**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí nátěrovými hmotami s obsahem zinkového prachu  
Corrosion Protection of Steel Structures with Paints Containing Zinc Dust

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku organických nátěrů
2. Prostudujte problematiku ochranného účinku nátěrových hmot obsahujících zinkový prach
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací
4. Proved'te experimentální práce a jejich vyhodnocení
5. Zpracujte technickou zprávu

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 150 s. ISBN 80-707-8953-0.  
PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I: Určeno pro posl. 5. roč. Fak. strojní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 71 s. ISBN 80-707-8235-8.  
BROCK, Thomas, Michael GROTEKLAES a Peter MISCHKE. *European coatings handbook*. Hannover: Vincentz, 2000. ISBN 38-787-0559-X.  
ČSN EN ISO 12944. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 1: Obecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

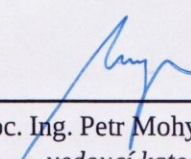
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

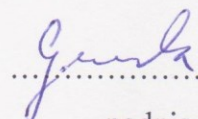
V Ostravě .....  
18.5.2015

.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, же Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домии, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18. 5. 2015 .....

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Grmela

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Velké Losiny 611, 788 15

## **Anotace bakalářské práce**

GRMELA, T. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí nátěrovými hmotami s obsahem zinkového prachu* : bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 63 s. Vedoucí práce: Ing. René Sionstrzonek, Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřena na protikorozní ochranu ocelových konstrukcí nátěrovými hmotami s obsahem zinkového prachu. Teoretická část se věnuje korozi a protikorozní ochraně pomocí organických povlaků resp. nátěrových hmot, přípravou povrchu a aplikací nátěrových hmot na ocelovou konstrukci. Praktická část práce je zaměřena na zkoumání mechanických a protikorozních vlastností dvou nátěrových hmot. V experimentech byla použita klasická nátěrová hmota Hempadur Zinc 17360 a nová hmota Hempadur AvantGuard® 750. Za účelem porovnání mechanických a protikorozních vlastností byly použity destruktivní zkoušky včetně zkoušky v solné mlze. Na konci práce jsou zkoušky vyhodnoceny a výsledky nátěrových systémů jsou porovnány.

## **Annotation of bachelor thesis**

GRMELA, T. *Corrosion Protection of Steel Structures with Paints Containing Zinc Dust* : Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 63 p. Thesis head: Ing. René Sionstrzonek, Ph.D.

Bachelor thesis is focused on the corrosion protection of steel structures paints containing zinc dust. The theoretical part focuses on corrosion and corrosion protection by organic coatings, respectively paint systems, surface preparation prior to application and the actual application of paints on steel structure. The practical part is focused on examining the mechanical and corrosion properties of the two paint systems. In the experiments were use a classic paints HEMPADUR 17360 Zinc and new HEMPADUR AvantGuard® 750. For the purpose of comparison the mechanical and corrosion properties were used in destructive tests, including tests in salt spray. At the end, the tests are evaluated and the results paint systems are compared.



## Obsah

<b>Úvod</b>	9
<b>1.Koroze kovů</b>	10
1.1 Klasifikace vnějšího prostředí dle normy ČSN EN ISO 12944-2	10
1.2 Dělení koroze	11
1.3 Koroze chemická	11
1.4 Koroze elektrochemická	11
1.5 Koroze v atmosféře	12
1.6 Koroze ve vodě	12
1.7 Koroze v plynech	12
1.8 Koroze v půdě	12
1.8.1 Koroze biologická	13
1.8.2 Koroze bludnými proudy	13
1.9 Druh (vzhled) koroze	13
1.9.1 Rovnoměrná koroze	13
1.9.2 Nerovnoměrná koroze	14
<b>2.Protikorozní ochrana</b>	17
2.1 Tvorba ochranných povlaků	17
2.2 Organické povlaky	18
2.3 Nátěrové hmoty	18
2.3.1 Rozdělení nátěrových hmot	18
2.4 Složení nátěrových hmot	20
2.5 Nová generace nátěrových hmot s obsahem zinkového prachu	23
<b>3.Příprava povrchu materiálu před aplikací nátěrových hmot</b>	25
3.1 Vhodné konstrukční řešení	25
3.1.1 Opatření k předcházení zadržování úsad a vody	25
3.1.2 Úprava spár	26
3.1.3 Úprava hran	27
3.1.4 Vady povrchu svarů	27
3.2 Metody přípravy povrchu před nanesením nátěru	28
3.2.1 Otryskávání	29
3.2.2 Čistota povrchu po otryskání	30
3.2.3 Zařízení pro tryskání	31
<b>4.Aplikace nátěrových hmot</b>	32
4.1 Nanášení pneumatickým stříkáním	32
4.2 Nanášení bezvzduchovým (AIRLESS) stříkáním	33
<b>5.Metodika experimentálních prací</b>	34
<b>6.Popis experimentálních prací</b>	35
6.1 Měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287	35
6.2 Stanovení kotvícího profilu	36



6.3 Stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle normy ČSN EN ISO 2808 .....	36
6.4 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou (ČSN ISO 9227) ...	37
6.5 Hodnocení přilnavosti nátěrového systému .....	38
6.5.1 Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1 .....	38
6.5.2 Mřížková zkouška přilnavosti dle normy ČSN ISO 16276-2 .....	39
6.5.3 Křížový řez dle normy ČSN ISO 16276-2 .....	40
<b>7.Charakteristika vstupních materiálů .....</b>	<b>41</b>
7.1 Charakteristika materiálu vzorků .....	41
7.1.1 Příprava povrchu před aplikací nátěrové hmoty .....	41
7.1.2 Značení vzorků .....	43
7.2 Charakteristika nátěrových hmot použitých v experimentech .....	43
7.2.1 Hempadur Zinc 17360 .....	43
7.2.2 Hempadur AvantGuard 750 .....	44
<b>8.Výsledky experimentálních prací .....</b>	<b>45</b>
8.1 Výsledky měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287	45
8.2 Výsledky stanovení kotvícího profilu .....	45
8.3 Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu .....	46
8.4 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou (ČSN EN ISO 9227)	47
8.4.1 Hodnocení korozní zkoušky dle normy ČSN EN ISO 4628-2, 3, 8.....	47
8.4.2 Fotodokumentace vzorků, které byly exponovány v korozní komoře .....	47
8.4.3 Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře .....	49
8.5 Výsledky měření přilnavosti nátěrového systému .....	49
8.5.1 Výsledky odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1 .....	49
8.5.2 Výsledky mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2.....	51
8.5.3 Výsledky zkoušky křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2.....	53
8.6 Hodnocení mikrosnímků metalografických výbrusů .....	54
<b>9.Vyhodnocení zkoušek a měření .....</b>	<b>56</b>
9.1 Vyhodnocení měření tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808) .....	56
9.2 Vyhodnocení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1 .....	56
9.3 Vyhodnocení mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2.....	57
9.4 Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2.....	58
<b>10.Závěr .....</b>	<b>59</b>
Literatura .....	61
Seznam obrázků .....	63
Seznam tabulek .....	64
Seznam grafů.....	65
Seznam příloh.....	66

**Seznam použitých značek a zkratek**

<b>Znak</b>	<b>Popis</b>
Al	hliník
C	uhlík
Cr	chrom
Cu	měď
Fe	železo
N	dusík
Ni	nikl
Mn	mangan
P	fosfor
S	síra
Si	křemík
Ti	titan
CO	oxid uhelnatý
HCl	kyselina chlorovodíková
NH <sub>3</sub>	amoniak
S <sub>a</sub>	stupeň otryskání
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
VOC	těkavá organická sloučenina



## Úvod

Lidstvo již po staletí svádí boj proti nežádoucímu jevu, který se nazývá koroze materiálu. Korozi jsou napadány všechny materiály jako například dřevo, sklo, stavební materiály a dokonce i plasty. Zkrátka koroze napadá veškeré materiály, které jsou v kontaktu s atmosférou. Avšak nejproblematictější je koroze nejrozšířenějšího funkčního materiálu na této planetě. Tímto materiálem jsou kovy resp. oceli. Koroze má za následek změnu vzhledu a funkčnosti materiálu. Koroze může vést, až k úplnému rozrušení materiálu a tím mohou vzniknout nejrůznější bezpečnostní rizika. Z těchto důvodů se čím dál častěji zabýváme ochranou materiálů nejrůznějšími protikorozními prostředky, jako je volba konstrukčního materiálu, správné řešení konstrukce, úprava korozního prostředí, nebo tvorba ochranných povlaků. V dnešní moderní době se každý rok na ochranu proti korozi vydá obrovské množství finančních prostředků. Podle světové korozní organizace (The World of Corrosion Organisation) je to zhruba 1,4 bilionu dolarů.

V bakalářské práci se zabývám protikorozní ochranou organickými povlaky. Tyto povlaky využívají k ochraně povrchu materiálu několik různých mechanismů, jako jsou inhibiční, bariérový a galvanický. Tato technologie patří mezi nejpoužívanější protikorozní povlakové ochrany. Činí přibližně 90% všech ochranných povlaků strojírenských výrobků. Konkrétně se práce týká nové technologie ochrany materiálů nátěrovými hmotami obsahující zinkový prach.

Tento nový druh ochrany se vyvíjel po dobu sedmi let. Během této doby inženýři a výzkumníci z firmy Hempel vyvinuli technologii, které dali název AvantGuard®. Nátěry obsahující tuto technologii mají samoopravitelný mechanismus. Takové nátěrové hmoty se dají používat ve velmi agresivních prostředích s označením C4 a C5.

Cílem této práce je experimentálně porovnat protikorozní a mechanické vlastnosti nátěrových hmot Hempadur Zinc 17360 a Hempadur AvantGuard 750.

## 1. Koroze kovů

Korozi lze definovat jako nevratný proces degradace materiálů díky chemickým nebo fyzikálním vlivům prostředí. Vliv koroze způsobuje částečné, ale také úplné rozrušení materiálu. Toto rozrušení způsobují fyzikálně-chemické děje v prostředí, ve kterém je materiál exponován.

### 1.1 Klasifikace vnějšího prostředí dle normy ČSN EN ISO 12944-2:

Norma přesně určuje stupně korozní agresivity několika atmosfér, půdy a vody. Toto vymezení je založeno na úbytku hmotnosti nebo tloušťky obvyklých vzorků zkoumaných v těchto prostředích.

#### Stupně korozní agresivity atmosféry

- C1 velmi nízká - vytápěné budovy s čistou atmosférou,
- C2 nízká - venkovské prostředí, nevytápěné budovy,
- C3 střední - města, průmyslové atmosféry, výrobní prostory s vysokou vlhkostí,
- C4 vysoká - průmyslové prostředí, chemické závody, bazény, loděnice a doky,
- C5-I velmi vysoká (průmyslová) - průmyslové prostředí, vysoká vlhkost a agresivita atmosféry, budovy s vysokým znečištěním ovzduší,
- C5-M velmi vysoká (přímořská) - přímořské prostředí s vysokou salinitou, budovy nebo prostředí s trvalou kondenzací a znečištěním ovzduší. [12]

#### Stupeň agresivity vody a půdy

- Im1 sladká voda - vodní stavby, vodní elektrárny,
- Im2 mořská nebo poloslaná voda - výpusti, plavební komory, plovoucí plošiny,
- Im3 půda - v zemi uložené nádrže, ocelové potrubí, ocelové piloty. [12]

## 1.2 Dělení koroze

Základní dělení koroze podle:

- mechanismu: koroze chemická,  
koroze elektrochemická.
- prostředí: koroze v atmosféře,  
koroze ve vodě,  
koroze v plynech,  
koroze v půdě. [1]
- druhu (vzhledu): rovnoměrná koroze,  
nerovnoměrná koroze,  
důlková koroze,  
bodová koroze,  
štěrbinová koroze,  
mezikristalová koroze,  
transkrystalová koroze, [1]  
a další.

## 1.3 Koroze chemická:

Plyny, vzduch, neelektrolyty jako nafta nebo benzín. Toto jsou jen některá prostředí, jejichž chemickým působením jsou rozrušovány kovové materiály. Typickým příkladem působení chemické koroze je oxidace, při níž se na povrchu materiálu objeví vrstva oxidů. Taková reakce s prostředím vede ke změně vzhledu povrchu materiálu. Pokud je vrstva oxidů pórovitá, nebo materiál degradoval na tolik, že vrstva odpadá, reakce s prostředím může vést až k úplnému rozrušení materiálu. Ale pokud oxidační vrstva přilnula k povrchu a je nepropustná, chemická reakce se zpomalí, dokonce se může i zastavit. [1]

## 1.4 Koroze elektrochemická

Elektrochemická koroze je charakterizována korozním dějem v elektrolytu za vzniku galvanického článku (makročlánku nebo mikročlánku). [2]

Mechanismus chemické a elektrochemické koroze se liší. Zatímco proces chemické koroze spočívá v chemické reakci s prostředím, v procesu elektrochemické koroze musí dojít k přenosu elektrického náboje. [1]

Elektrochemická koroze probíhá v prostředí kapalných roztoků kyselin, zásad a solí rozpuštěných ve vodě. [1]

### **1.5 Koroze v atmosféře**

Koroze atmosférická je jedna z nejrozšířenějších typů degradace materiálu, protože většina kovových výrobků je vystavena atmosférickým podmínkám dané lokality (vlhkost, znečištění ovzduší a jeho teplota).

Samotný korozní děj probíhá pod vodním filmem, který je nasycen atmosférickými složkami, jako jsou oxid uhelnatý (CO), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), amoniak (NH<sub>3</sub>), chlorovodík (HCl) a aerosoly. Tento vodní film vzniká kondenzací vzdušné vlhkosti a jeho tloušťka je mezi 5 až 150 μm. [2]

### **1.6 Koroze ve vodě**

Nejčastějším případem koroze v kapalinách je koroze ve vodě. Voda obsahuje různé kyselé i zásadité chemické látky, které intenzitu koroze přímo ovlivňují. Koroze ve vodě je elektrochemický děj, který ovlivňují činitelé typu mechanické nečistoty, kavitace, vliv mikroorganismů a mnoho dalších. Ovšem ten největší význam na rychlost koroze má kyslík, který je ve vodě obsažen. [2]

### **1.7 Koroze v plynech**

Vzhledem k tomu, že plyny jsou nevodivé prostředí, jde převážně o chemické děje. Koroze tedy způsobují chemické sloučeniny při působení plynu na kov. Nejhorší případy koroze v plynech, bývají za vysokých teplot a tlaků plynného prostředí. [2]

### **1.8 Koroze v půdě**

Koroze v půdě je zvláštní případ, protože půda je tvořena všemi třemi fázemi, tedy tuhou, kapalnou i plynnou. Nejvýznamnější fází, z hlediska koroze, je fáze kapalná.



Ta je představována jako vodný roztok elektrolytu s obsahem rozpuštěných plynů a solí. Plynou fází tvoří kyslík (10 – 20 %), dusík (70 – 80 %) a CO<sub>2</sub> (0,1 – 10 %). [3]

### Dělení půdní koroze:

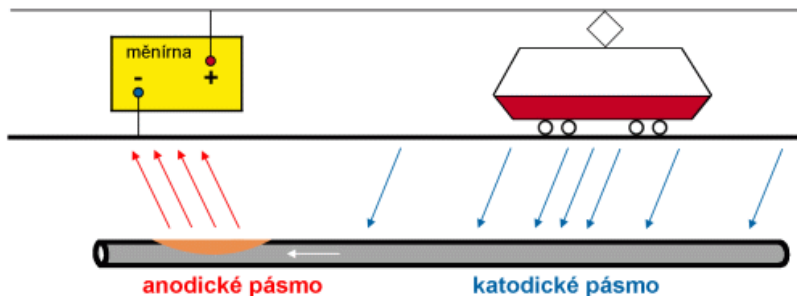
- koroze biologická,
- koroze bludnými proudy.

#### 1.8.1 Koroze biologická

Tato koroze se objevuje díky přítomnosti aerobních a anaerobních bakterií, které korozi způsobují. Tyto bakterie napadají kovové i nekovové materiály. [2]

#### 1.8.2 Koroze bludnými proudy

Koroze bludnými proudy souvisí s korozí v půdách. [2] „*Probíhá za specifických podmínek průchodu elektrických proudů z vnějších zdrojů částí kovových zařízení uloženými v půdě (vodovodní a plynová potrubí, kabely).*” [2, s. 25]



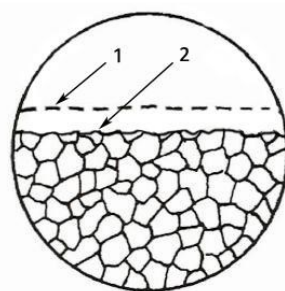
Obr. 1: Schéma vzniku bludného proudu na stejnosměrně elektrizované železnici [4]

### 1.9 Druh (vzhled) koroze

#### 1.9.1 Rovnoměrná koroze

Rovnoměrná koroze se vyskytuje ve stejné intenzitě po celé exponované ploše materiálu a lze ji vyjádřit úbytkem tloušťky v [mm/rok] apod. Jelikož je možné experimentálně stanovit korozní rychlost, patří k nejméně nebezpečným typům koroze. Zařízení tak lze konstruovat s ohledem na rychlost úbytku materiálu.

„Korozní rychlost se obvykle mění s časem - počáteční hodnota je větší než konečná a proto se udává její časový průměr.” [2, s. 19] Schéma rovnoměrné koroze je na Obr.2.



Obr. 2: Rovnoměrná koroze,

1 - původní povrch,

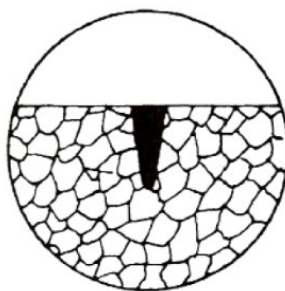
2 - povrch po napadení [3]

### 1.9.2 Nerovnoměrná koroze

Nerovnoměrná koroze napadá materiál na různých místech a v různých hloubkách. Je několikanásobně nebezpečnější než rovnoměrná koroze, jelikož u těchto typů koroze nemusí být vizuálně patrná místa napadení povrchu materiálu pod ochranným nátěrem. Projevují se jako koroze důlková, bodová, štěrbinová, mezikristalová, transkristalová a další.

#### Důlková koroze

Důlková koroze se projevuje u pasivních materiálů jako hliník, železo, chrom, korozivzdorné oceli apod. Hloubka napadení materiálu se poměrově rovná jeho šířce. Schéma důlkové koroze je na Obr.3.

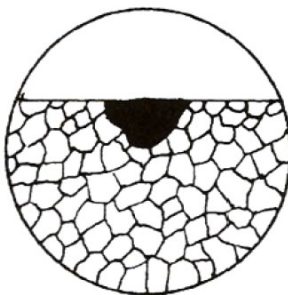


Obr. 3: Důlková koroze [3]

#### Bodová koroze

Podobně jako u důlkové koroze se bodová projevuje u pasivních materiálů. Je to jeden z nejnebezpečnějších typů koroze zejména u materiálů, které jsou odolné vůči rovnoměrné korozi. Hloubka napadení materiálu daleko převyšuje jeho průměr. Může dojít k perforaci materiálu v celé jeho tloušťce. Schéma bodové koroze je na Obr.4.

„Dochází k ní především v roztocích obsahujících chlor, brom nebo jod, jejich soli, zejména halogenidy těžkých kovů nebo chlornany.” [4, s. 13]



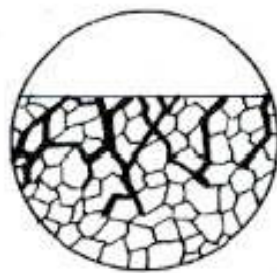
Obr. 4: Bodová koroze [3]

### Štěrbínová koroze

Tento typ koroze se objevuje v místech se špatným oběhem korozního prostředí (štěrbiny, jemné kapiláry). V těchto místech se objevují rozdíly v koncentraci kyslíku, které napomáhají k vytvoření podmínek pro vznik korozního napadení.

### Mezikrystalová koroze

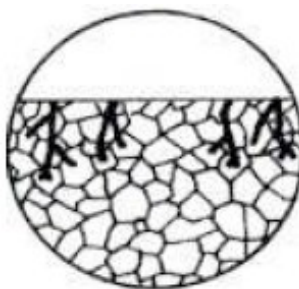
„Tento typ koroze vzniká v případě, že napadení hranic zrn je podstatně rychlejší než koroze vlastního zrna a je doprovázena zhoršením mechanických vlastností.” [4, s. 15] Je charakteristická výskytem koroze v oblasti okolo hranice zrn materiálu. V důsledku této koroze přichází kov o pevnost a houževnatost. Tento druh koroze je také velmi nebezpečný, protože na povrchu materiálu nemusí být zřejmé žádné korozivní napadení. Schéma mezikrystalové koroze je na Obr. 5.



Obr. 5: Mezikrystalová koroze [3]

### Transkrystalová koroze

Transkrystalová koroze je téměř jako mezikristalová, tedy vyskytuje se v oblasti okolo hranice zrn materiálu, ale navíc dochází k praskání samotných zrn. Tato koroze je velmi nebezpečná, ale v praxi se vyskytuje jen zřídka. Schéma koroze je patrné na Obr. 6.



*Obr. 6: Transkrystalová koroze [3]*



## 2. Protikorozní ochrana

Základní možnosti jak korozi zabránit, zpomalit nebo úplně zastavit, a tím zvýšit trvanlivost výrobku, umožnila znalost o základech mechanismu a kinetice koroze. [1]

Jsou uváděny čtyři základní skupiny protikorozních opatření, kterými lze snížit proces úbytku materiálu vlivem koroze. Jsou to:

- Úprava korozního prostředí odstraněním nebo snížením obsahu stimulující složky,
- Elektrochemická ochrana kovového povrchu,
- Volba vhodného konstrukčního materiálu,
- Tvorba ochranných povlaků na základním materiálu.

V této práci se budu zabývat pouze poslední z těchto skupin a to tvorbou ochranných povlaků na základním materiálu resp.: nátěrovými hmotami. Zbylé tři skupiny jsou svým rozsahem příliš rozsáhlé a „nesouvisí“ s mým zadáním.

### 2.1 Tvorba ochranných povlaků

Ochranné povlaky základního materiálu patří k nejčastějším prostředkům ochrany proti korozi. Nejen, že také mění povrchové vlastnosti, ale slouží také jako nástroj designu. [1]

Ve strojírenské výrobě jsou obrovské nároky na povrchovou úpravu a protikorozní ochranu. Pro splnění těchto nároků se používají povlaky jako pasivní ochrana „(jeden typ materiálu v jedné nebo několika vrstvách)” [1, s. 24]. Také se používají povlakové systémy „(vytvořené několika vrstvami materiálu různého druhu, např. Fe – Cu – Ni – Cr, nátěr na žárově vytvořeném povlaku)” [1, s. 24] Spotřebitelé strojírenských výrobků kladou velký důraz na to, aby povlak splňoval, po celou dobu životnosti výrobku, funkční a designové vlastnosti. [1]

Existuje celá řada ochranných povlaků proti korozi. Vzhledem k zadání bakalářské práce se budu věnovat pouze organickým povlakům.

## 2.2 Organické povlaky

Ochrana povrchu, ocelových konstrukcí organickými povlaky je nejstarší, nejběžnější a nejekonomičtější prostředek, který momentálně tvoří asi 90 % všech ochranných povlaků. Ochrana organickými povlaky je založena na způsobu bariérové ochrany, kdy tato bariéra zamezí přístupu agresivních složek k povrchu chráněného materiálu. Účelem těchto povlaků je tedy zabránit koroznímu napadání ocelových konstrukcí a tím zvýšit jejich životnost. Povlaky chrání povrch před agresivními prostředími typu povětrnost, vysoké teploty, mořská voda nebo mořská atmosféra apod. [1, 2]

## 2.3 Nátěrové hmoty

Nechráněný materiál, který je exponován v jakémkoli korozním prostředí postupem času koroduje. Aby nedocházelo k poměrně velkým materiálovým (finančním) ztrátám, musíme se pokusit tuto degradaci materiálu vyloučit po celou dobu požadované životnosti výrobku. K ochraně materiálu proti korozi se nejvíce používají nátěrové hmoty. [6]

Nátěrové hmoty jsou v podstatě všechny výrobky, které jsou používány k vytváření nátěrů. Jsou to organické látky různého druhu a složení, které jsou nanášeny buď to v tekutém, nebo těstovitém stavu. Po nanesení na povrch materiálu vytvářejí tenký film požadovaných kvalit a vlastností. [1]

### 2.3.1 Rozdělení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty je možné rozdělit podle několika měřítek:

- podle obsahu pigmentu,
- podle povětrnostní odolnosti,
- podle účelu,
- podle počtu složek pojiva,
- podle pořadí v nátěrovém systému.

**Podle obsahu pigmentu nátěrové hmoty:**

- **transparentní** (fermež, lak) – průhledný až průsvitný nátěr,
- **pigmentovaný** (email, tmel, barva) – neprůhledný nátěr. [1]

**Podle umístění nátěru:**

- **vnitřní** – nátěrové hmoty, které se používají v interiérech budov, velmi nízká odolnost povětrnostním podmínkám,
- **venkovní** – nátěrové hmoty odolávající povětrnostním podmínkám a slunečnímu záření, [1]
- **speciální** – nátěrové hmoty vysoce chemicky a tepelně odolné, hydroizolační, elastické apod.

**Podle účelu nátěru:**

- ochranný nátěr,
- dekorativní nátěr,
- signální nátěr,
- maskovací nátěr,
- speciální nátěr. [1]

**Podle složek pojiva:**

- **jednosložkové** – alkydy, akryláty, silikony apod.,
- **dvousložkové** – epoxidy, polyuretany apod. [7]

**Podle pořadí v nátěrovém systému:**

- **napouštěcí** – slouží k napouštění savých materiálů (dřevo, beton, fasáda domu, apod.),
- **základní** – první nátěr aplikovaný na nenatřený nebo nenapuštěný podklad nebo první vrstva obnovovacího nátěru,
- **vyrovnávací** - nátěrové hmoty určené k vyrovnávání nerovností povrchu,  
k vytvoření hladkého rovnoměrného povrchu a k zaplnění pórů,
- **podkladová** – nátěrové hmoty používané jako mezivrstva mezi základním a vrchním nátěrem,
- **vrchní** – poslední vrstva nátěrového systému. Chrání všechny ostatní vrstvy nátěrového systému,
- **maskovací** - nátěrové hmoty používané pro účely maskování, např. ve vojenském průmyslu. [13]

## 2.4 Složení nátěrových hmot

Složení nátěrových hmot se dělí do čtyř základních skupin:

- Filmotvorné složky (pojiva),
- Pigmenty,
- Plniva,
- Těkavé složky (rozpouštědla, ředidla),
- Aditiva.

### Filmotvorné složky (pojiva)

Filmotvorné složky (pojiva) jsou netěkavé látky, které mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu. Váží na sebe disperbované částice pigmentu a plniva v zaschnutém filmu. Liší se od sebe chemickým složením i fyzikálními vlastnostmi. Požadované vlastnosti nátěrů jsou dosaženy různými kombinacemi těchto filmotvorných složek (pojiv). Vlastnosti jako odolnost, pružnost, přilnavost, tvrdost, lesk apod. V minulosti se využívaly výměšky z rostlin (pryskyřice – kopály, kalafuna, damara) nebo hmyzu (šelak) a rostlinné oleje. V současnosti je výroba založena na syntetických pryskyřicích. [1,7]

Některé vybrané příklady pryskyřic:

- Alkydové pryskyřice,
- Akrylátové pryskyřice,
- Polyuretany,
- Epoxidové pryskyřice.

### Alkydové

Alkydové pryskyřice se v dnešní době příliš často nepoužívají. Nátěrové hmoty obsahující alkydové pryskyřice mají velmi dobrou přilnavost nátěru k ocelovému podkladu a dobře odolávají povětrnosti. Velkou nevýhodou značná propustnost kyslíku, vodní páry i oxidu siřičitého. Neodolávají působení uhlovodíků a ani chemickým činidlům. [7]



### Akrylátové

Tyto pryskyřice jsou jedny z nejmodernějších druhů pojiva pro vodou ředitelné nátěrové hmoty. Velmi často se kombinují s jinými pryskyřicemi. Jsou odolné povětrnostním podmínkám, dlouho přetrvávající lesk i barevný odstín. [7]

### Polyuretany

Polyuretanové nátěrové hmoty se vyrábí z izokyanátové pryskyřice. Tyto hmoty se vytvrzují v kombinaci se sloučeninami hydroxylové skupiny (aktivní vodík) za normálních teplot. Mají dobrou odolnost vůči vodě, mechanickému namáhání, ale i odolnost chemickou. [7]

### Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou pojivem pro podstatnou skupinu dvousložkových nátěrových hmot s vysokou chemickou odolností. Jako základní složka se výhradně používá nízkomolekulární pryskyřice na bázi dianu. Jako tužidla se používají polyamidy a polyaminy, díky nimž dojde k chemickému vytvrzení. Tímto vznikne film s velmi dobrou chemickou odolností, tvrdostí a houževnatostí. Epoxidové nátěrové hmoty velmi dobře odolávají chemickým vlivům, organickým kyselinám, sladké i slané vodě. Nevýhoda těchto nátěrů je, že jsou méně odolné proti povětrnostním podmínkám (vlivem UV záření křídoují). Jsou vhodné jako základní i vrchní nátěry do velmi agresivních prostředí. Vhodné jsou i pro ponor a přímý kontakt s provozními kapalinami. [6,7]

### Pigmenty

Pigmenty jsou organické nebo anorganické látky, které jsou rozšířeny v pojivu. Dodávají nátěru barevný odstín, krycí schopnost, snižují stárnutí nátěru, zvyšují teplotu a korozní odolnost. [1]

#### Pigmenty se dělí do tří skupin:

- **inhibiční pigmenty** – „látky, které po přidání do korozního prostředí v malé koncentraci snižují rychlost koroze.“ [14],
- **neutrální pigmenty** – zlepšují fyzikální vlastnosti. Používá se při výrobě vrchních nátěrů,

- **stimulační pigmenty** – chemicky netečné pigmenty, mají dobrou elektrickou vodivost. Používá se při výrobě vrchních nátěrů,

#### Některé typy pigmentů:

- **anorganické pigmenty bílé**

Titanová běloba, zinková běloba, olovnatá běloba, barytová běloba, sádra, křída, vápenec, mramor, hydroxid hlinitý, bílé hlinky a další, [8]

- **anorganické pigmenty barevné**

Chromanové (toxické, v některých státech zakázané), železité, grafit, saze a další, [8]

- **luminescentní pigmenty**

Fluorescentní, fosforescenční, [8]

- **antikorozi pigmenty**

Fosforečnan zinečnatý:

Prakticky nerozpustný dobře přilnavý pigment. Nevhodný do silně kyselého prostředí a do prostředí obsahující chlorid sodný. V těchto prostředích je nutno použít neutralizující pigmenty jako je vápenec nebo zinková běloba. Není toxický. [8]

Kovový zinek:

Využívá se v podobě jemnozrnného zinkového prachu. Poskytuje nátěru elektrochemickou ochranu. Používá se při výrobě nátěrových hmot s vysokým obsahem zinku. Částice zinku musí být v takové koncentraci, aby se navzájem dotýkaly a byly schopny zajistit elektrickou vodivost. Obvyklým pojivem těchto pigmentů jsou epoxidy, chlorkaučuk, polyuretan a polyesterové pryskyřice. Nátěry tohoto typu se používají v kontaktu velmi agresivního prostředí (C4 a C5). [8]

## **Plniva**

Jsou to jemně rozemleté minerální látky, které nejsou rozpustitelné v pojivu. Plniva vhodně upravují technologické vlastnosti povlaku (zabránění smrštění filmu po uschnutí). Používá křída (nejpoužívanější), mastek, těživec a další. [1]

## **Těkavé složky**

Rozpouštědla a ředidla jsou kapalné organické sloučeniny, které rozpouští oleje, vosky, syntetické i přírodní pryskyřice. Rozpouštědlo přidává výrobce přímo do nátěrové hmoty v průběhu výroby, avšak ředidlo je přidáno až před aplikací nátěru. Tyto látky upravují konzistenci nátěrové hmoty tak, aby byla schopna aplikace. Z ekonomického i ekologického hlediska je snaha snížit množství tyto těkavé složky na minimum (VOC látky). [7]

## **Aditiva**

Jsou to pomocné přísady nátěrových hmot, které vhodně upravují technologické a fyzikální vlastnosti hmot obsahujících vysychavé oleje. Aditiva se používají při výrobě fermeží olejových a glyptalových hmot. Účinnou složkou aditiv jsou kovová mýdla nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech. Za aditiva se považují sušidla, emulgátory, stabilizátory, inhibitory urychlovače katalyzátory apod. [1,2]

## **2.5 Nová generace nátěrových hmot s obsahem zinkového prachu**

Nátěrové hmoty s obsahem zinkového prachu byly představeny v 60. letech 20. století. Tyto hmoty obsahovaly účinné inhibiční pigmenty jako olovo (suřík) a chrom (zinková žluť), nicméně tyto pigmenty jsou toxické a tedy lidem a životnímu prostředí nebezpečné. Pigmenty byly zakázány a musely být nahrazeny netoxickými antikorozními pigmenty. Nátěrové hmoty ale nedosahovaly srovnatelných kvalit a požadavku dlouhodobého antikorozního účinku. Od této chvíle se v tomto směru provedlo nemnoho změn.

Zinek je v protikorozních zinkových nátěrech nejdůležitější složkou. Jeho ochranná vlastnost (tzv. galvanický efekt) spočívá v rychlejší degradaci než podkladový materiál, kterým je ocel, čímž vytvoří neprostupnou ochrannou bariéru. Aby tento efekt fungoval správně, jednotlivá zrnka zinkového prachu musí mezi sebou mít elektrický kontakt. Až v roce 2006 výzkum firmy Hempel učinil významný objev, zinkový prach obsažený v nátěrových hmotách je využit pouze z jedné třetiny jeho obsahu. Z toho vyplývá, že oxiduje



pouze vrchní vrstva zinku a zbylé dvě třetiny jsou příliš vzdáleny korozi. Neschopny oxidace a tedy nevyužity.

Výzkumný tým začal zkoumat způsob aktivace většího množství zinku obsaženého v nátěru. Po několika letech vyvinuli novou technologii ochrany, kterou nazvali AvantGuard®. Tato technologie spočívá ve využití zaběhlých složek epoxid-zinkových nátěrů a dalších dvou nových prvků – dutých skleněných kuliček a patentovaných aktivátorů zinkových částic nátěru.



### 3. Příprava povrchu materiálu před aplikací nátěrových hmot

Před nanesením samotného nátěru musí podkladový materiál bezpodmínečně projít předúpravou povrchu. Předúpravu povrchu můžeme posuzovat podle dvou různých hledisek:

1. Prvním hlediskem je předúprava povrchu z pohledu konstrukčního řešení
2. Druhým hlediskem je předúprava povrchu z pohledu očištění (přípravy) povrchu před aplikací nátěru

Obě tyto skupiny výrazným způsobem ovlivňují výslednou životnost nátěrového systému, přílnavost nátěrového systému k podkladovému materiálu, korozní odolnost apod.

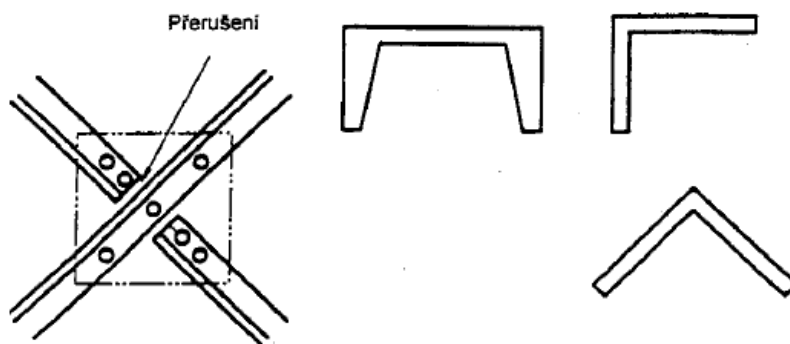
#### 3.1 Vhodné konstrukční řešení

Tvar ocelové konstrukce může zásadně ovlivňovat její náchylnost ke korozi. Ocelové stavby a konstrukce musí být navrženy tak, aby nevznikala místa, ve kterých by mohla konstrukce začít korodovat. Tvary prvků konstrukcí a způsoby jejich spojování, výroby, montáže a veškeré následné operace, mohou ovlivnit vznik koroze. Tvary povrchu konstrukce by měly být jednoduché, bez zbytečných složitostí. Při kontaktu ocelové konstrukce se stavebními materiály, musí být protikorozní opatření účinná po celou dobu její životnosti i v případě např. úplného zazdění konstrukce. [5]

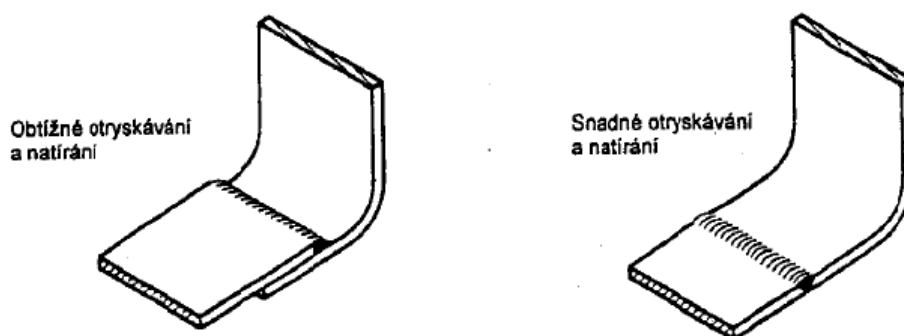
Uvedeme zde několik obrazových příkladů konstrukčního řešení, které nařizuje norma ČSN EN ISO 12944-3:

##### 3.1.1 Opatření k předcházení zadržování úsad a vody

Konstrukce musí být navržena tak, aby bylo zabráněno zadržování vody a nečistot. V opačném případě dojde k vytváření korozních lůžek a postupné degradaci materiálu.



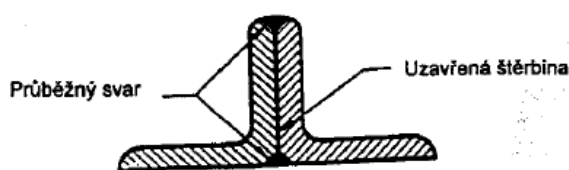
Obr. 16: Opatření zabraňující shromažďování vody a úsad [5]



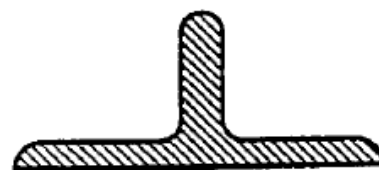
Obr. 7: Uspořádání svarů [5]

### 3.1.2 Úprava spár

Spáry, trhliny a přeplátování jsou možným zdrojem koroze, protože se v nich může zadržovat vlhkost, nečistoty a zbytky tryskacích materiálů po otryskávání. Toto lze ošetřit utěsněním těchto spár či trhlín. Ve vysoce korozním prostředí se tyto prostory překrývají ocelovým plechem, který musí být přivařen. [5] Například spojování L profilů šroubem a maticí je důsledkem vzniku úzké štěrbině mezi těmito profily, která může představovat značné korozní riziko. Abychom vyloučili vznik předčasného poškození protikorozní ochrany v místě úzké štěrbině, můžeme využít různá technologická nebo konstrukční opatření – utěsnění průběžným svarem (Obr. 8), tmelení spáry apod. V ideálním případě můžeme využít nepřerušovaný profil (Obr. 9).

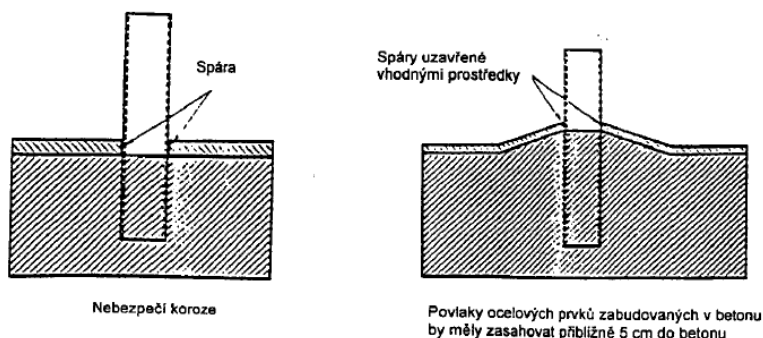


Obr. 8: Zajištění spár průběžným svarem [5]



Obr. 9: Nepřerušovaný profil [5]

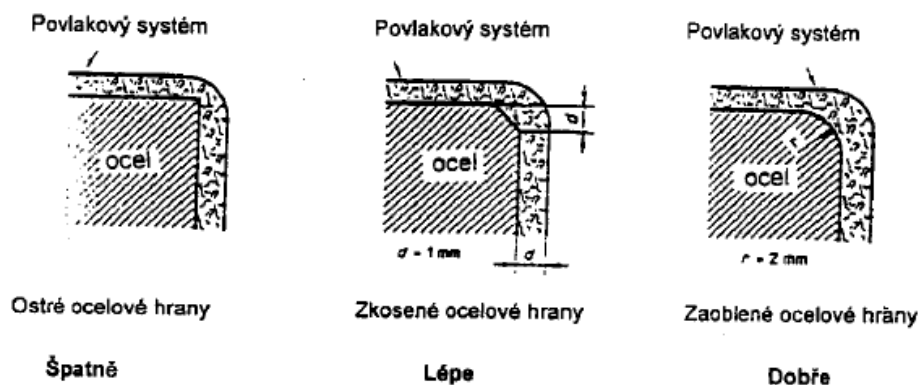
„Zvláštní pozornost se musí věnovat přechodům mezi betonem a ocelí, které jsou vystaveny vysokému stupni korozního namáhání.“ [5, s. 8]



Obr. 10: Spojení ocel-beton [5]

### 3.1.3 Úprava hran

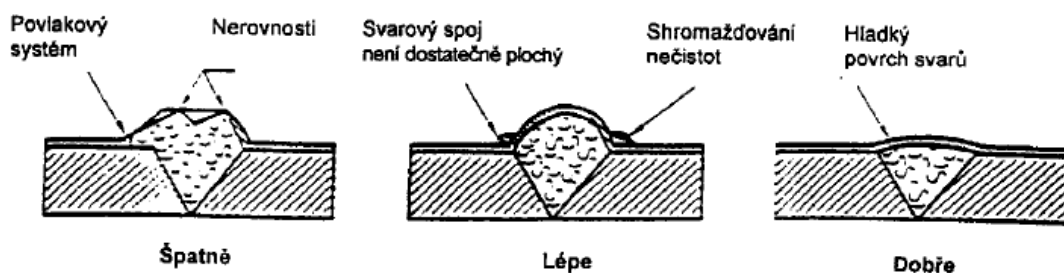
Všechny typy povlaků mohou být snadno poškozeny na ostrých hranách výrobku. Těmto poškozením zamezíme tak, že všechny vzniklé ostré hrany ve výrobě musíme zaoblit nebo seříznout. Odstranit musíme i otřepy po vrtání děr a podél řezných hran. Tímto opatřením dojde k rovnoměrnému nanesení povlaku i na hranách výrobku a nedojde ke zmíněnému snadnému poškození povlaku. [5]



Obr. 11: Vyloučené ostrých hran [5]

### 3.1.4 Vady povrchu svarů

Povrch svarových spojů má být zbaven vad jako například nerovnosti pórů, kráterů nebo rozstříků. Tyto vady svarů (nedokonalosti svarů) výrazným způsobem znesnadňují aplikaci nátěru na těchto plochách nebo mohou výrazným způsobem snížit životnost nátěrového systému



Obr. 12: Potlačení povrchových vad svarových spojů [5]

### 3.2 Metody přípravy povrchu před nanesením nátěru

Účelem těchto úprav povrchu materiálu je docílení požadovaných vlastností povrchu. Tím se rozumí očištění povrchu od nečistot (rez, okuje, atd.) a získat požadovanou mikrostrukturu povrchu pro zakotvení základního nátěru. Účelem úprav je také zlepšení mechanických vlastností povrchu (mez únavy, zvýšení pevnosti).

Základní rozdělení povrchových úprav materiálu:

- Chemické úpravy
- Mechanické úpravy

#### Chemické úpravy

Chemické úpravy povrchu jsou procesy, při kterých zpravidla reagují chemická činidla s nečistotami na povrchu materiálu. Existuje několik technologií chemických úprav povrchu materiálu (**odmašťování**, **moření**), které se volí podle druhu nečistoty. [2]

#### Mechanické úpravy

Mechanické úpravy se dělí:

- broušení,
- leštění,
- kartáčování,
- omílání,
- otryskávání,
- válečkování,
- oklepávání. [1]

V této práci se zaměříme pouze na abrazivní otryskávání, jelikož je to základní a nutná podmínka v přípravě povrchu pro nátěrové hmoty obsahující částice zinkového prachu.

### 3.2.1 Otryskávání

Otryskávání je mechanický způsob úpravy povrchu materiálu, při kterém je abrazivní materiál (volná zrna, kterým je dodána kinetická energie) vrhán vysokou rychlostí proti povrchu materiálu výrobku. Účelem otryskávání je očistit povrch výrobku od koroze, okují, zbytků původních materiálů a dalších nečistot. Využívá se také ke zvýšení mechanických vlastností povrchu a získání požadované mikrogeometrie otryskávaného materiálu, ovšem záleží na typu abraziva. Jedná se o velmi produktivní metodu čištění a přípravy povrchu materiálu. Před samotným otryskáním se musí z povrchu materiálu, např. oklepáváním, odstranit silné vrstvy rzi. Taktéž je nutno odstranit viditelné oleje, mastnoty i nečistoty. Po otryskání se povrch musí očistit od ulpělého prachu a drti. Do technologického postupu je možné také zařadit ochranu proti oxidaci (dočasným způsobem ochrany nebo pasivací). [1, 2, 9]

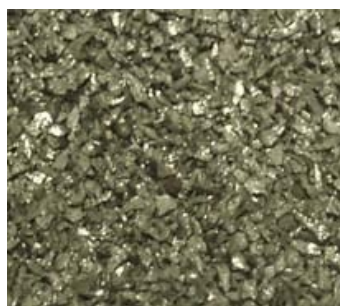
Vlastnosti a charakter mikrogeometrie povrchu po otryskání je určen těmito parametry:

- velikost, tvar a tvrdost abraziva,
- úhlem a vzdáleností tryskacího zařízení od předmětu,
- průměr trysky,
- druh a velikost otryskávaného materiálu,
- doba tryskání. [1]

Nejpoužívanější tryskací prostředky:

- Křemičitý písek - z důvodu zdravotní závadnosti je tento druh otryskávacího prostředku zakázán. Nicméně v některých je v některých technicko-kvalitativních podmínkách přípravy povrchu předepsán.
- Struska,
- Ocelová drť – Obr. 13,
- Ocelový granulát – Obr. 14,
- Sekaný drát – Obr. 15,
- Litinová drť – Obr. 16,
- Brusiva,

- Balotina,
- Drť z pecek nebo skořápek ořechů. [1]

*Obr. 13: Ocelová drť [19]**Obr. 14: Ocelový granulát [17]**Obr. 15: Sekaný drát [18]**Obr. 16: Litinová drť [16]*

Otryskávací materiál se volí podle druhu otryskávaného povrchu, stupně znečištění a podle tloušťky stěn výrobku. Výrobky vyrobené z měkkých materiálů, tenkostěnné, se otryskávají při nižším tlaku média a jemnějšími zrny. Naopak tlustostěnné a těžké výrobky jsou otryskávány hrubými zrny při vyšším tlaku tryskacího média. [1]

Důležitým faktorem je tvar a tvrdost abraziva. Otryskávání ostrým a tvrdým zrnem sice očistíme povrch materiálu od nežádoucích nečistot, ale dochází také k zasekávání zrn do povrchové vrstvy čistěného materiálu. Naopak při dopadu tupých a tvrdých materiálů (např. balotina) nedochází k zasekání do čistěného materiálu, ale povrch upravený těmito tryskacími materiály je pokryt malými důlky. Tyto důlky, společně se zatlačenými nečistotami, mohou napomáhat podkorodování ochranného nátěru.

### 3.2.2 Čistota povrchu po otryskání

Požadovaná čistota otryskaného povrchu se značí písmeny „Sa”. Čistota povrchu se dělí dle ČSN EN ISO 8501-1 na (viz. Tabulka 1):

Tabulka 1: Stupně otryskání dle ČSN EN ISO 8501-1 [9]

<b>Sa 1</b>	<b>Lehké otryskání</b>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek (viz poznámku 1 k 3.1). Viz fotografie B Sa 1, C Sa 1 a D Sa 1.
<b>Sa 2</b>	<b>Důkladné otryskání</b>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé (viz poznámku 2 k 3.1). Viz fotografie B Sa 2, C Sa 2 a D Sa 2.
<b>Sa 2½</b>	<b>Velmi důkladné otryskání</b>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů. Viz fotografie A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ a D Sa 2½.
<b>Sa 3</b>	<b>Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch</b>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled. Viz fotografie A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 a D Sa 3.

Vyhodnocení otryskaného povrchu materiálu probíhá porovnáním prostým okem se vzorovými fotografiemi, které jsou přiloženy k této části normy ČSN EN ISO 8501. Vyhodnocení musí být provedeno v dobře rozptýleném denním světle nebo ekvivalentním umělém. [9]

### 3.2.3 Zařízení pro tryskání

- mechanické tryskače – mají různou konstrukci, např.: stolové, komorové nebo bubnové,
- pneumatické tryskače – dělí se na tlakové a injektorové.



## 4. Aplikace nátěrových hmot

Jeden z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující kvalitu a životnost nátěru je správná volba technologie nanášení nátěrových hmot. Způsobů nanášení nátěrových hmot je celá řada. [1]

Kritéria pro volbu technologie:

- Tvar, velikost a množství předmětů,
- Vzhled, tloušťka, stupeň korozního namáhání,
- Kvalita povrchu předmětů,
- Vlastnosti použitých nátěrových hmot,
- Pracnost a technologie jednotlivých technologií nanášení. [1]

Druhy nanášení nátěrových hmot:

- Nanášení štětcem, válečkem,
- Nanášení navalováním,
- Nanášení namáčením,
- Nanášení poléváním,
- **Nanášení pneumatickým stříkáním,**
- **Nanášení bezvzduchovým stříkáním (AIRLESS),**
- Nanášení postřikem ohřátých nátěrových hmot,
- Elektrostatické nanášení.

Věnovat se budeme pouze dvěma variantám nanášení povlaku a to pneumatickým stříkáním a bezvzduchovým stříkáním (AIRLESS), protože tyto metody nanášení nátěru jsou doporučenými metodami v aplikačním listu pro obě dvě testované nátěrové hmoty.

### 4.1 Nanášení pneumatickým stříkáním

Stále patří k nejrozšířenějším způsobům nanášení nátěrových hmot. Tato metoda je velmi produktivní, proto se využívá k nástřiku velkých ploch. Pneumatickým stříkáním lze dosáhnout rovnoměrného nástřiku a velmi hladkého povrchu. Využívá se jak ruční stříkání (ve stříkacích kabinách), tak je možné proces dobře mechanizovat i automatizovat. Nevýhodou pneumatického stříkání je značné rozprašování nátěrové hmoty do atmosféry,

a tím také dochází ke ztrátě rozpouštědla, protože nátěrová hmota musí být dostatečně zředěna. [1]

#### **4.2 Nanášení bezvzduchovým (AIRLESS) stříkáním**

Při bezvzduchovém (AIRLESS) stříkání se nátěrová hmota na povrch materiálu nanáší bez použití stlačeného vzduchu. Na rozprašování se využívá vysokého tlaku nátěrové hmoty ženoucí se přes speciální tryskové pistoli. Velikost pracovního tlaku zařízení se pohybuje mezi 6 – 30 MPa. Velikost tlaku se odvíjí od druhu nátěrového materiálu a typu zařízení. Používají se pístová nebo membránová čerpadla. [11]

Vysokotlaké stříkací zařízení jsou velmi univerzální. Jsou schopny nanášet širokou škálu nátěrových hmot – od jemných laků až po hmoty na pryskyřičné bázi. [11]

Výhody bezvzduchového (AIRLESS) stříkání:

- vysoký plošný výkon,
- procento odpadu činí pouze 2 – 5 %,
- nenáročná a jednoduchá obsluha. [11]

## 5. Metodika experimentálních prací

Cílem experimentálních prací je ověření vlastností nátěrové hmoty obsahující technologii AvantGuard® v porovnání s klasickou nátěrovou hmotou, která tuto technologii neobsahuje. Jedná se o nátěrové hmoty Hempadur Zinc 17360 a Hempadur AvantGuard® 750.

### Experimentální zkoušky:

- Měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287,
- Stanovení kotvícího profilu,
- Stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle normy ČSN EN ISO 2808,
- Hodnocení přilnavosti nátěrového systému,
  - Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1
  - Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2
- Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227,
  - Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1,
  - Mřížková zkouška přilnavosti a křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2,
  - Hodnocení stupně puchýřkování nátěru dle normy ČSN EN ISO 4628-2,
  - Hodnocení stupně prorezavění nátěru dle normy ČSN EN ISO 4628-3,
  - Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle normy ČSN EN ISO 4628-8,
- Metalografické hodnocení pomocí optického mikroskopu Neophot 2

## 6. Popis experimentálních prací

### 6.1 Měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287

Tato mezinárodní norma stanoví termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základní profil) profilovou metodou. [14]

Pro měření drsnosti podkladového materiálu byl použit drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ -301. Na přístroji se nastaví parametry pro měření dle měřicího standardu ISO 1997. Měření se provádí na několika místech vzorku. Z naměřených parametrů se následně vypočítá aritmetický průměr.

Drsnost povrchu materiálu je stanovena různými parametry. K hlavním parametrům patří (Obr. 17):

- $R_a$  – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_z$  – největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_p$  – největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_v$  – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]. [13]



Obr. 17: Schéma profilu drsnosti [13]

## 6.2 Stanovení kotvícího profilu

K stanovení kotvícího profilu byl použit přístroj **MITUTOYO – DIAL THICKNESS GAUGE** v kombinaci se speciální páskou **PRESS-O-FILM™**.

Při stanovování kotvícího profilu se jako první musí na základní materiál nalepit speciální páska **PRESS-O-FILM™**. Dále se plastovou tyčinkou vytlačí kotvící profil do označeného místa na pásce. Páska se odlepí a měřicím přístrojem, **MITUTOYO**, se změří výška kotvícího profilu. Od naměřené hodnoty je nutné odečíst tloušťku pásky, což v našem případě je hodnota 50  $\mu\text{m}$ .



*Obr. 18: Sada ke stanovení kotvícího profilu*

## 6.3 Stanovení tloušťky suchého nátěrového filmu dle normy ČSN EN ISO 2808

Pro stanovení tloušťky suchého nátěru byl použit tloušťkoměr **ELCOMETER 456** (Obr. 19). Měření tímto přístrojem je nedestruktivní metoda, protože pracuje na principu elektromagnetické indukce.



*Obr. 19: Tloušťkoměr ELCOMETER 456 [20]*

## 6.4 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou (ČSN ISO 9227)

Korozní zkouška v umělé atmosféře byla provedena dle normy ČSN ISO 9227. Provádí se třemi metodami, kterými prověřuje protikorozní odolnost podkladových materiálů s ochranným povlakem nebo zcela bez povlaku.

Modifikace solné mlhy dle normy ČSN ISO 9227:

- v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS),
- v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS),
- v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného a chloridu měďnatého (CASS).

Pro zkoušku byla zvolena modifikace NSS – v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného. Měření bylo provedeno v korozní komoře Liebisch typ S400 m TR.

### Postup zkoušky:

Nejprve se zhotoví nátěr na podkladovém materiálu. Na vzorcích se zhotoví řezy (*min. 50 mm*), kterými se odhalí podkladový materiál. Provedené řezy napodobují mechanické poškození v reálných podmínkách. Hrany a zadní strana vzorku se přelepí samolepicí páskou. Vzorky se exponují do korozní komory. Po dokončení zkoušky se vzorky se vyjmou a nechají se 0,5 až 1 hodinu schnout. Následně se vzorky opláchnou tekoucí čistou vodou o teplotě nepřevyšující 40 °C a vysuší proudem vzduchu. Vyhodnocení zkoušky se provádí vizuálně dle normy ČSN EN ISO 4628-2,3,8 a zkouškami určujícími přilnavost nátěrového systému (*odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN 16276-1, mřížková zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem dle normy ČSN ISO 16276-2:2007*).



Obr. 20: Korozní komora [13]

## 6.5 Hodnocení přilnavosti nátěrového systému

### 6.5.1 Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1

Odtrhová zkouška přilnavosti je destruktivní metoda, která se provádí na vytvrzeném nátěrovém systému. Výsledkem zkoušky je hodnota minimálního tahového napětí, které musí být vyvinuto k odtržení přilepeného zkušebního válečku.



Obr. 21: Sada pro provedení odtrhové zkoušky

#### Postup zkoušky:

Nejprve se jemně obrousí zkušební váleček a nátěr na předem zvoleném místě provádění zkoušky. Namíchá se dvousložkové lepidlo (Araldite) v mísicím poměru 2:1. Lepidlo se nanese na funkční plochu válečku, který se následně přilepí na broušenou plochu nátěru. Po vytvrzení lepidla se kolem zkušebního válečku poruší nátěr až na podkladový materiál za pomoci řezného nástroje. Okolo válečku se umístí vnější prstenec a na zkušební váleček nasuneme odtrhoměr. Proveďte se zkouška. Odečte se hodnota z odtrhoměru a posoudí se lomové plochy.

#### Charakteristika lomové plochy

Tato charakteristika se hodnotí na základě vizuální prohlídky místa odtržení. Výsledky se udávají jako procentuální podíl. Výsledky mohou být zapsány podle následujícího schématu:

A	=	kohezní lom v podkladu
A/B	=	adhezní lom mezi podkladem a nátěrem
B	=	kohezní lom nátěru
B/Y	=	adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem
Y/Z	=	adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem









## 6.5.2 Mřížková zkouška přilnavosti dle normy ČSN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti je destruktivní metoda hodnotící odolnost nátěrového systému proti oddělení od podkladového materiálu.

### Postup zkoušky:

Vzorek se umístí na pevnou a rovnou plochu. Zvolí se místo pro provedení řezu do nátěrového systému. Řez se provádí speciálním řezným nástrojem, určeným pro tento druh zkoušky. Tímto nástrojem se provede šest rovnoběžných řezů v jednom směru a šest řezů kolmých k prvním šesti řezům. Řezy musí proniknout až na podkladový materiál. Vzdálenost těchto řezů určíme podle tloušťky nátěru. Štětcem se lehce očistí vzniklá mřížka. Následně se odřízne kus speciální samolepicí pásky, která se nalepí na mřížku a lehce přejede konečky prstů. Samolepicí páska se odtrhne přibližně pod úhlem 60° za dobu 0,5-1,0 sekundy. Zhodnocení se provádí okamžitě po stržení pásky a klasifikuje se dle Obr. 22 a Tabulky 2.

vzhled plochy mřížky						
% poškození plochy	0%	< 5%	< 15%	< 35%	< 65%	> 65%
klasifikace	0	1	2	3	4	5

Obr. 22: Klasifikace mřížkové zkoušky [13]

Tabulka 2: Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [13]

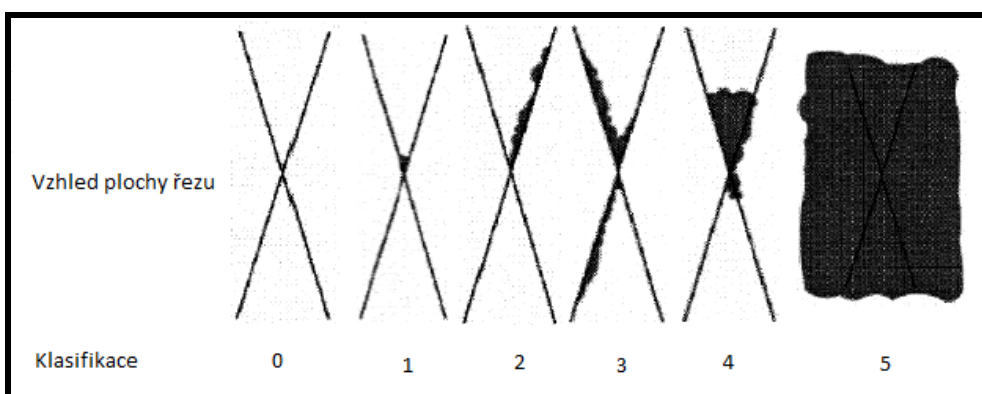
Klasifikace	Popis
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5% a méně než 15% celkové plochy.
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15%, ale menší než 35%.
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35%, ale méně než 65%.
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4.

### 6.5.3 Křížový řez dle normy ČSN ISO 16276-2

Křížový řez je také jedna z destruktivních zkoušek nátěrového systému. Řez musí, stejně jako mřížkový, proniknout k podkladovému materiálu a má podobu X.

#### Průběh zkoušky:

Na vzorek, který je položen na rovném a neohebném podkladu, se umístí šablona. Ostrým normalizovaným jednobřitým nástrojem se provede řez podle šablony až k podkladovému materiálu. Šablona se otočí a provede se druhý řez. Dále se pracuje se samolepící páskou (postup je stejný jako u mřížkové zkoušky). Výsledek zkoušky se hodnotí dle Obr. 23 a Tabulky 3.



Obr. 23: Klasifikace zkoušky křížovým řezem

Tabulka 3: klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem

Klasifikace	Popis
0	Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr
1	Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečících.
2	Roztřípené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5mm na každé straně
3	Roztřípené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3.0 mm na obou stranách.
4	Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.
5	Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez

## 7. Charakteristika vstupních materiálů

### 7.1 Charakteristika materiálu vzorků

Pro experimentální část bakalářské práce byly použity vzorky o rozměrech **150 x 100 x 3 mm**. Materiál těchto vzorků je ocel typu KOSMALT E 300T. Jedná se o ocelový plech válcovaný za tepla, který je dobře ohebný a vhodný pro lisování za studena.

Tabulka 4: Mechanické vlastnosti ocele KOSMALT E 300T

Mechanické vlastnosti ocele KOSMALT E 300T	
Mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	300 - 450
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	300 - 450
Tažnost $A_5$ [%]	28

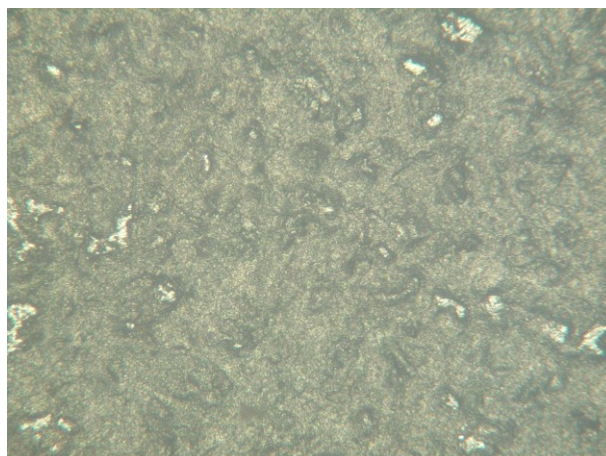
Tabulka 5: Chemické složení ocele KOSMALT E 300T

Chemické složení ocele KOSMALT E 300T								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	N	Ti
Množství [%]	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06

#### 7.1.1 Příprava povrchu před aplikací nátěrové hmoty

##### Odmaštěný povrch

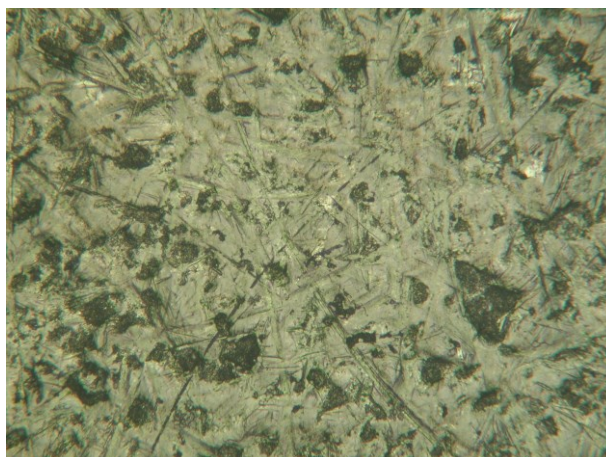
Na vzorku se provedlo pouze odmašťování ekologickým odmašťovacím prostředkem SIMPLE GREEN o koncentraci 1:10. Ve vytvořené lázni bylo změřeno pH a teplota pomocí nástroje Eutech Instruments pH5+. Následně byl do lázně umístěn vzorek 3OD po dobu deseti minut. Po uplynutí této doby byl vzorek vyjmut a opláchnut čistou vodou. Na konec byl vzorek do sušičky SN 30/4 a vysušen při teplotě 100 °C po dobu pěti minut. Mikrosnímek odmaštěného povrchu vzorku, pořízený na optickém mikroskopu NEOPHOT 2, je na Obr. 24.



*Obr. 24: Povrch vzorku po odmaštění, zvětšení 80x*

### **Ručně broušený povrch**

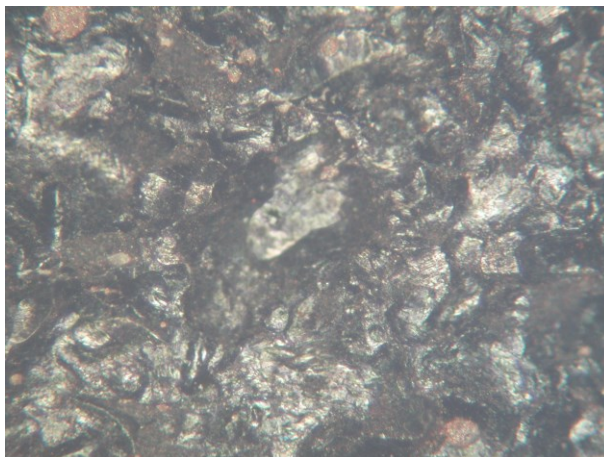
Vzorek byl broušen smirkovým papírem o zrnitosti 40. Mikrosnímek broušeného povrchu vzorku je na Obr. 25.



*Obr. 25: Povrch vzorku po ručním broušení, zvětšený 100x*

### **Otryskaný povrch**

Povrch vzorku byl mechanicky otryskán, v průběžné tryskací kabině Carlo Banfi, na čistotu Sa 2½. Jako tryskací materiál byla použita ocelová drť GP 18 o tvrdost 480 - 550 HV. Mikrosnímek otryskaného povrchu je na Obr. 26.



Obr. 26: Povrch vzorku po otryskání, zvětšený 100x

### 7.1.2 Značení vzorků

Pro experimentální práce se použilo celkem 18 vzorků. Vzorky byly rozděleny podle jednotlivých metod přípravy povrchu před nanesením nátěru a podle aplikovaného nátěru.

Značení jednotlivých vzorků je patrné z Tabulky 6.

Tabulka 6: Značení jednotlivých vzorků

Nátěrová hmota	Metoda přípravy povrchu		
	Odmaštěno	Ručně broušeno	Otryskáno
Hempadur Zinc 17360	1OD – 2OD	1RB – 3RB	1OT – 3OT
Hempadur AvantGuard 750	1ODN – 3ODN	1RBN – 3RBN	1OTN – 3OTN

Tabulka 7: Značení sad vzorků

Nátěrová hmota	Sada vzorků		
	Odmaštěno	Ručně broušeno	Otryskáno
Hempadur Zinc 17360	OD	RB	OT
Hempadur AvantGuard 750	ODN	RBN	OTN

## 7.2 Charakteristika nátěrových hmot použitých v experimentech

### 7.2.1 Hempadur Zinc 17360

Jedná se o dvousložkovou epoxidovou základní nátěrovou hmotu s vysokým obsahem zinkového prachu. Vlastností nátěrové hmoty je odolnost vůči atmosférickým podmínkám

a katodická ochrana v místech mechanického poškození. Detailní informace jsou uvedeny v příloze A.

**Základní fyzikální údaje:**

Tloušťka nátěrového filmu: **50 – 75  $\mu\text{m}$**

Obsah sušiny [%]:  **$65 \pm 1$**

Teoretická vydatnost: **13  $\text{m}^2/\text{l}$**

Obsah VOC: **332 g/l**

Suchý povrch: **0,5 hodiny 20°C**

Plně vytvrzen: **7. den 20°C**

**7.2.2 Hempadur AvantGuard 750**

Dvousložková epoxidová nátěrová hmota s obsahem aktivovaného zinku. Používá se jako univerzální základní nátěrová hmota s dlouhodobou ochranou oceli, která je vystavena silně koroznímu prostředí. Vyznačuje se vynikající ochranou a snížením vlivu koroze, kvalitní mechanickou pevností (při rychle se měnících teplotách) se zvýšenou odolností proti trhlinám (díky vysoké pružnosti a samo-opravě malých prasklin), tolerancí proti atmosférickým vlivům během aplikace a tolerancí proti silné tloušťce nátěru. Více informací je uvedeno v příloze B.

**Základní fyzikální údaje:**

Tloušťka nátěrového filmu: **50 - 100  $\mu\text{m}$**

Obsah sušiny [%]:  **$65 \pm 1$**

Teoretická vydatnost: **10,8  $\text{m}^2/\text{l}$**

Obsah VOC: **316 g/l**

Suchý povrch: **10 minut 20°C**

Plně vytvrzen: **7. den 20°C**

## 8. Výsledky experimentálních prací

### 8.1 Výsledky měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287

Měření bylo provedeno na všech třech různých površích vzorků. Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest SJ -301, pro jednotlivé povrchy, je uvedeno v Tabulce 8. Jednotlivá měření jsou znázorněny v Tabulce 9. Ze všech naměřených hodnot jednotlivých vzorků byly vypočítány průměrné hodnoty drsnosti povrchu, které jsou taktéž uvedeny v Tabulce 9.

Tabulka 8: Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest SJ -301

Povrch vzorku	Standard	Profile	l [mm]	$\lambda_c$ [mm]
	ISO 1997	R		
Otryskaný	•	•	12,5	2,5
Ručně broušený	•	•	0,8	0,8
Odmaštěný	•	•	0,8	0,8

l – měřená vzdálenost

$\lambda_c$  – filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

Tabulka 9: Drsnost povrchu podkladových materiálů

Povrch vzorku	Drsnost	Měření v podélném směru			Průměr [μm]	Měření v příčném směru			Průměr [μm]
		1	2	3		1	2	3	
Otryskaný	Ra	5,44	6,55	6,58	6,19	7,58	5,94	7,64	7,05
	Rz	35,12	38,71	44,14	39,32	46,77	34,96	45,29	42,34
Ručně broušený	Ra	1,11	0,64	0,86	0,87	1,23	1,00	0,81	1,01
	Rz	5,51	3,94	6,17	5,21	6,11	5,88	5,01	5,67
Odmaštěný	Ra	1,28	1,25	1,54	1,36	0,84	1,36	1,38	1,19
	Rz	8,38	7,61	9,07	8,35	6,47	8,26	7,48	7,40

### 8.2 Výsledky stanovení kotvícího profilu

Na všech typech podkladového materiálu bylo provedeno měření kotvícího profilu pomocí pásky PRESS-O-FILM™ a měřicího indikátoru Mitutoyo.

Výsledné průměrné hodnoty z těchto měření jsou uvedeny v Tabulce 10. Od všech průměrných hodnot je odečtena tloušťka testovací pásky (50 μm).



*Tabulka 10: Stanovení kotvícího profilu*

Povrch vzorku	Měření			Průměrná výška kotvícího profilu [ $\mu\text{m}$ ]
	1	2	3	
Otryskaný	128,0	129,0	128,5	<b>78,5</b>
Ručně broušený	104,0	115,0	132,0	<b>67,0</b>
Odmaštěný	124,0	123,0	156,0	<b>84,3</b>

### 8.3 Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu

Bylo provedeno dvanáct měření rozložených rovnoměrně po celé ploše vzorku. Z těchto měření přístroj vypočítal minimální, maximální a průměrnou tloušťku nátěru. Tloušťka nátěrového filmu vzorků 3OT, 3RB, 3OD, 3OTN, 3RBN a 3ODN byly měřeny před umístěním do korozní komory.

*Tabulka 11: Hodnoty tlouštěk suchého nátěru*

Vzorek	Nejmenší tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]	Největší tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrná tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]
1OT	52,60	80,90	66,92
2OT	69,80	79,80	74,08
3OT	65,7	81,9	73,93
1RB	65,70	91,70	77,07
2RB	63,10	69,20	65,65
3RB	57,10	70,30	65,86
1OD	104,00	148,00	123,30
2OD	91,40	126,00	103,80
3OD	110,90	88,60	129,00
1OTN	155,00	192,00	169,30
2OTN	151,00	177,00	165,30
3OTN	142,00	159,00	150,30
1RBN	141,00	179,00	160,30
2RBN	146,00	176,00	160,80
3RBN	138,00	161,00	149,30
1ODN	138,00	192,00	158,00
2ODN	142,00	179,00	158,90
3ODN	149,00	174,00	160,40



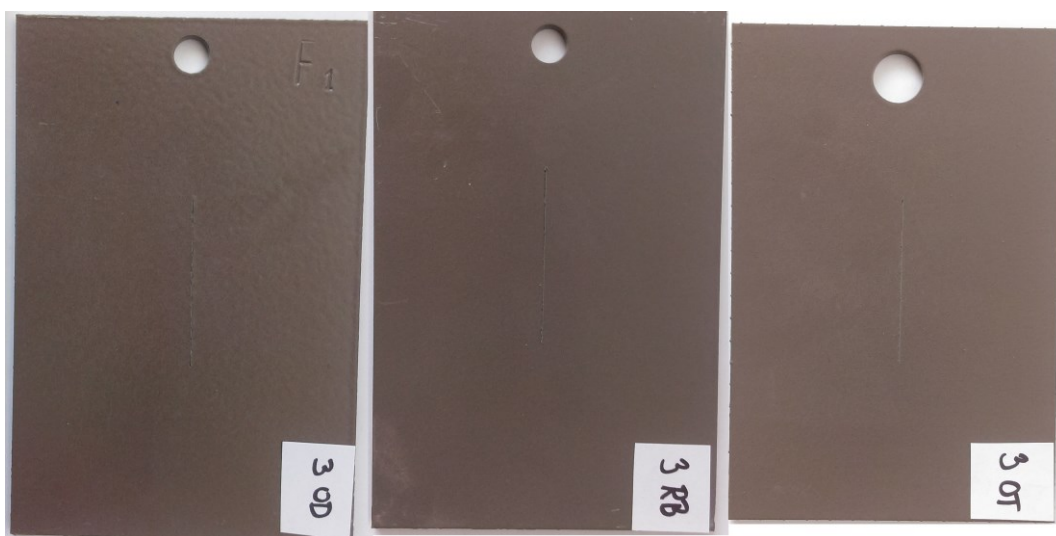
## 8.4 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou (ČSN EN ISO 9227)

### 8.4.1 Hodnocení korozní zkoušky dle normy ČSN EN ISO 4628-2, 3, 8

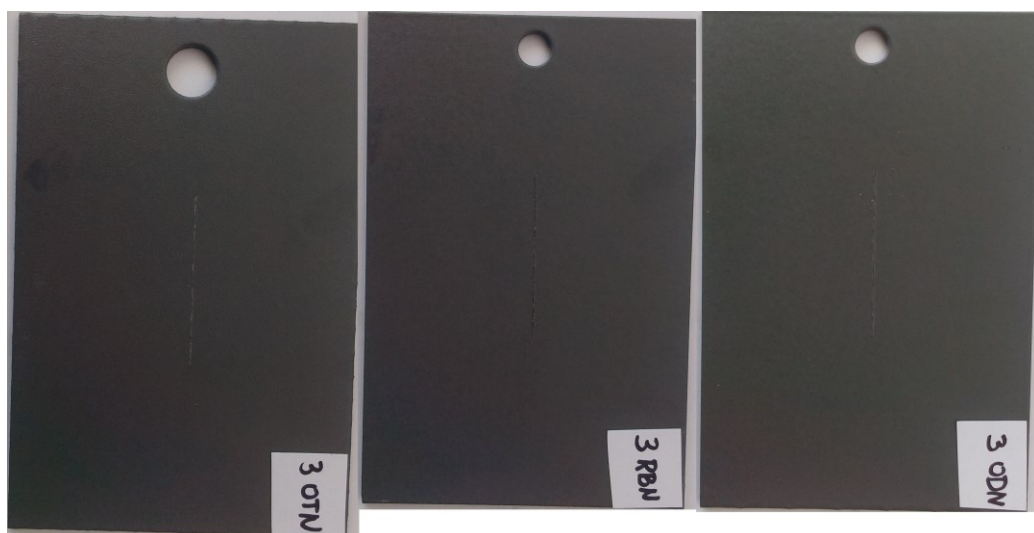
Tabulka 12: Vyhodnocení korozní zkoušky dle ČSN EN ISO 4628-2, 3, 8

Vzorek	Čas zkoušky	Stupeň puchýřkování dle EN ISO 4628-2	Prorazavění plochy dle EN ISO 4628-3	Stupeň delaminace a koroze kolem řezu dle EN ISO 4628-8
	[hod]	[Stupeň]	[Stupeň]	Koroze/Delaminace
				[Stupeň]
3OT	26	0(S0)	Ri1(S4)	1/0
	100	0(S0)	Ri1(S4)	1/0
3RB	26	0(S0)	Ri1(S4)	1/0
	100	0(S0)	Ri1(S5)	2/0
3OD	26	0(S0)	Ri1(S1)	0/1
	100	0(S0)	Ri1(S2)	1/1
3OTN	26	0(S0)	Ri0(S0)	0/0
	100	0(S0)	Ri0(S0)	0/0
3RBN	26	2(S4)	Ri0(S0)	1/0
	100	3(S5)	Ri1(S3)	1/0
3ODN	26	2(S4)	Ri0(S0)	1/0
	100	5(S4)	Ri1(S3)	2/0

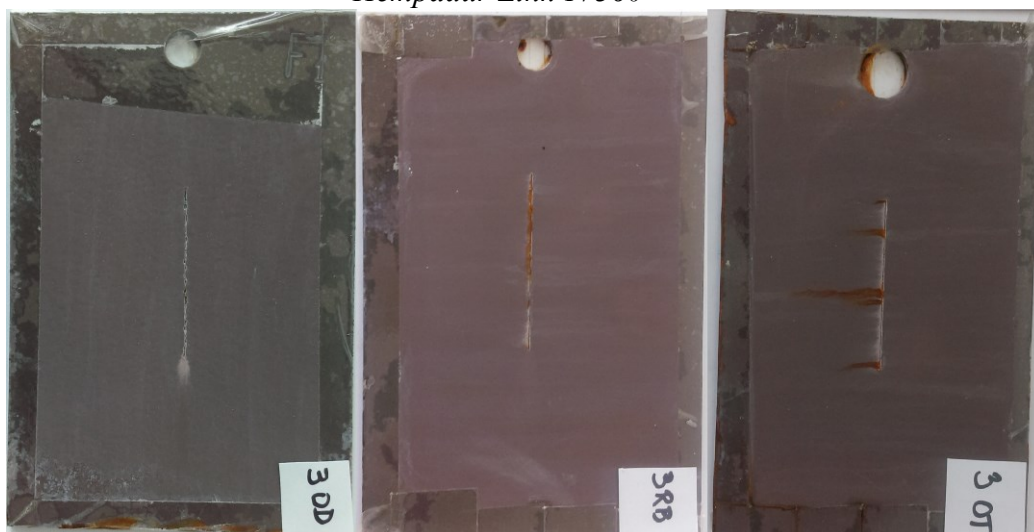
### 8.4.2 Fotodokumentace vzorků, které byly exponovány v korozní komoře



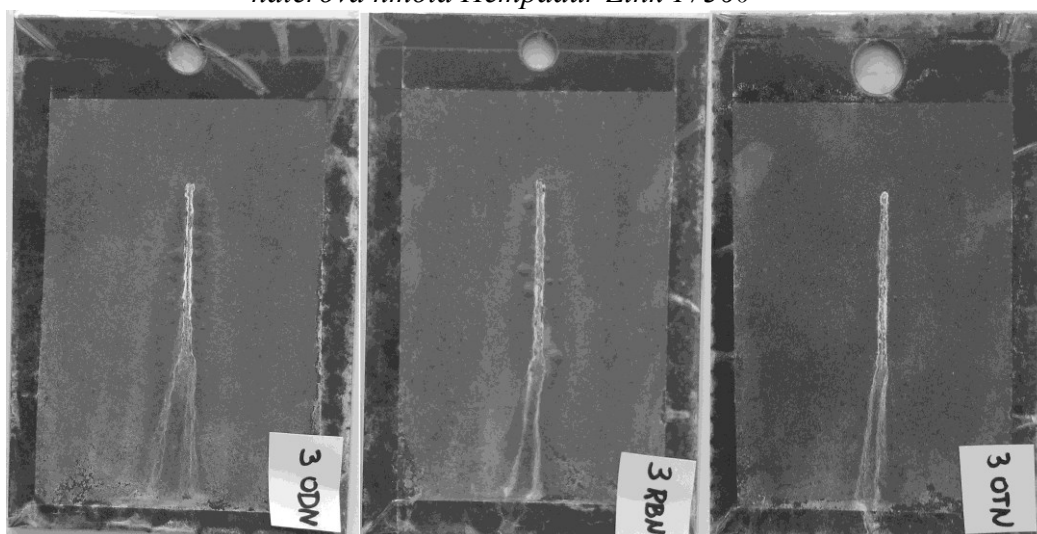
Obr. 27: Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360



Obr. 28: Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360



Obr. 29: Fotodokumentace vzorků vyjmutých po 100 hodinách z korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360



Obr. 30: Fotodokumentace vzorků vyjmutých po 100 hodinách z korozní komory, nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 550

### 8.4.3 Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře

Tabulka 13: Tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře



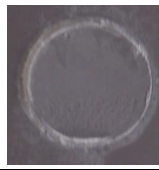










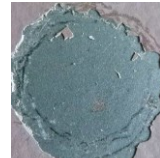

Vzorek	Tloušťka filmu	Nejmenší tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]	Největší tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrná tloušťka filmu [ $\mu\text{m}$ ]
3OT	Nátěr	65,70	80,9	73,93
	Okolo odtrhu	79,20	90,20	85,63
		86,30	102,00	91,70
3RB	Nátěr	57,10	70,30	65,86
	Okolo odtrhu	84,00	93,3	89,10
		76,70	89,60	81,53
3OD	Nátěr	113,00	141,00	126,60
	Okolo odtrhu	119,00	138,00	128,50
		117,00	152,00	126,80
3OTN	Nátěr	146,00	176,00	161,70
	Okolo odtrhu	150,00	163,00	154,8
		160,00	162,00	160,50
3RBN	Nátěr	152,00	177,00	163,40
	Okolo odtrhu	160,00	176,00	165,50
		159,00	168,00	163,50
3ODN	Nátěr	164,00	186,00	175,30
	Okolo odtrhu	168,00	179,00	172,00
		172,00	184,00	177,5

## 8.5 Výsledky měření přilnavosti nátěrového systému

### 8.5.1 Výsledky odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1




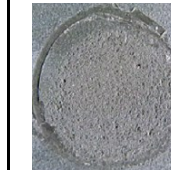
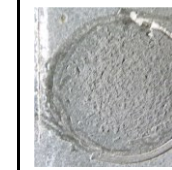




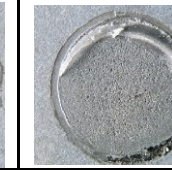



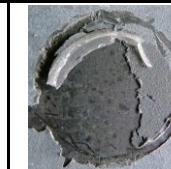

Výsledky odtrhové zkoušky a jejich fotodokumentace jsou uvedeny v tabulce 14 a 15. Vzorky 3OT, 3RB, 3OD, 3OTN, 3RBN a 3ODN byly vyjmuty, po 100 hodinách, z korozní komory.

Tabulka 14: Výsledky odtrhové zkoušky pro nátěrovou hmotu Hempadur Zinc 17360 včetně fotodokumentace

Vzorek	1OT	1OT	2OT	3OT	3OT
Měřené hodnoty					
Odtrhová pevnost [MPa]	9	12	8	4,5	4
Charakteristika lomové plochy [%]	55B, 40B/Y, 5Y	25B, 65B/Y, 5Y	30B, 50 B/Y, 20Y	1A/B, 99B/Y	98B, 2A/B
Fotodokumentace					
Vzorek	1RB	1RB	2RB	3RB	3RB
Měřené hodnoty					
Odtrhová pevnost [MPa]	10	11	10	5,5	6
Charakteristika lomové plochy [%]	40A/B, 20B, 30B/Y, 10Y	40B, 45B/Y, 5Y	15A/B, 25B, 55B/Y, 5Y	99B/Y, 1Y	100B/Y
Fotodokumentace					
Vzorek	1OD	1OD	2OD	3OD	3OD
Měřené hodnoty					
Odtrhová pevnost [MPa]	10	9	10	8	9
Charakteristika lomové plochy [%]	98A/B, 2B	99A/B, 1B	75A/B, 25B/Y	98A/B, 2B/Y	95A/B, 3B/Y, 1Y
Fotodokumentace					



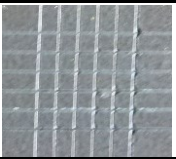
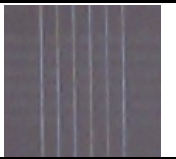
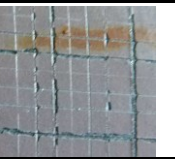
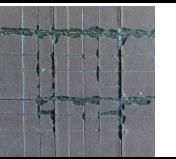
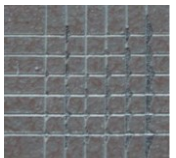
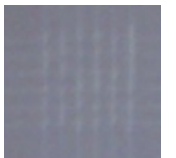
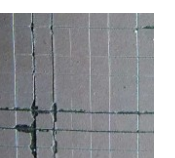
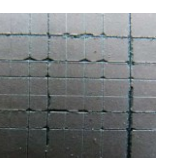




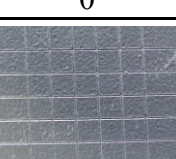
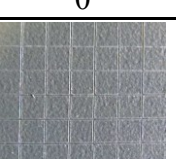
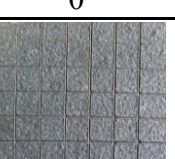
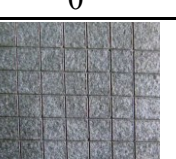
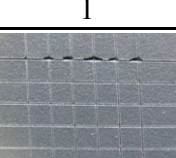
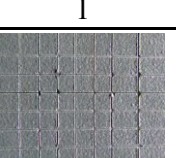
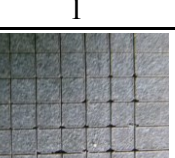
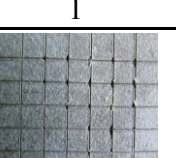
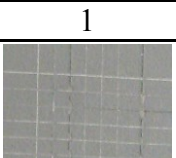
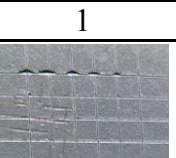
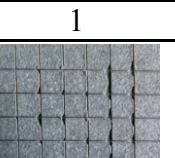
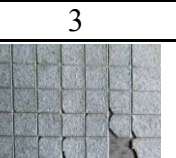
Tabulka 15: Výsledky odtrhové zkoušky pro nátěrovou hmotu Hempadur AvantGuard 750 včetně fotodokumentace

Vzorek	1OTN	1OTN	2OTN	3OTN	3OTN
Měřené hodnoty					
Odrhová pevnost [MPa]	13	12	9	12	11
Charakteristika lomové plochy [%]	20B, 70B/Y, 10Y/Z	35B, 60B/Y, 5Y	10B, 75B/Y, 5Y/Z	97B, 2B/Y, 1Y	97B, 2B/Y, 1Y
Fotodokumentace					
Vzorek	1RBN	2RBN	2RBN	3RBN	3RBN
Měřené hodnoty					
Odrhová pevnost [MPa]	13	8	12	7	6
Charakteristika lomové plochy [%]	47B, 45B/Y, 8Y/Z	20B, 80B/Y	5A/B, 45B, 5B/Y	55B, 45B/Y	60B, 40B/Y
Fotodokumentace					
Vzorek	1ODN	1ODN	2ODN	3ODN	3ODN
Měřené hodnoty					
Odrhová pevnost [MPa]	5	4	3	3	4
Charakteristika lomové plochy [%]	25A/D, 75B/Y	50A/B, 30B, 20B/Y	40A/B, 5B, 50B/Y, 5Y/Z	65A/B, 30B/Y, 5Y	50A/B, 5B, 45Y/B
Fotodokumentace					

### 8.5.2 Výsledky mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2

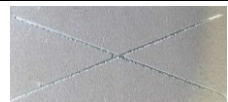





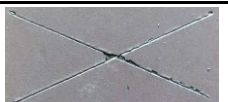

















V následujících Tabulkách 16 a 17 jsou vyobrazeny výsledky měření přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 16276-2. Vzorky 3OT, 3RB, 3OD, 3OTN, 3RBN a 3ODN byly vyjmuty, po 100 hodinách expozice, z korozní komory.

*Tabulka 16: Výsledky měření přilnavosti mřížkovou zkouškou včetně fotodokumentace*

Vzorek	1OT	2OT	3OT	
Klasifikace	0	0	2	2
Fotodokumentace				
Vzorek	1RB	2RB	3RB	
Klasifikace	0	0	2	1
Fotodokumentace				
Vzorek	1OD	2OD	3OD	
Klasifikace	5	5	4	4
Fotodokumentace				
Vzorek	1OTN	2OTN	3OTN	
Klasifikace	0	0	0	0
Fotodokumentace				
Vzorek	1RBN	2RBN	3RBN	
Klasifikace	1	1	1	1
Fotodokumentace				
Vzorek	1ODN	2ODN	3ODN	
Klasifikace	1	1	1	3
Fotodokumentace				

### 8.5.3 Výsledky zkoušky křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Tabulka 17: Výsledky měření přilnavosti křížovým řezem včetně fotodokumentace

Vzorek	1OT	2OT	3OT	
Klasifikace	0	0	1	1
Fotodokumentace				
Vzorek	1RB	2RB	3RB	
Klasifikace	1	1	1	1
Fotodokumentace				
Vzorek	1OD	2OD	3OD	
Klasifikace	4	4	4	4
Fotodokumentace				
Vzorek	1OTN	2OTN	3OTN	
Klasifikace	0	0	1	0
Fotodokumentace				
Vzorek	1RBN	2RBN	3RBN	
Klasifikace	1	1	1	1
Fotodokumentace				
Vzorek	1ODN	2ODN	3ODN	
Klasifikace	1	1	4	0
Fotodokumentace				

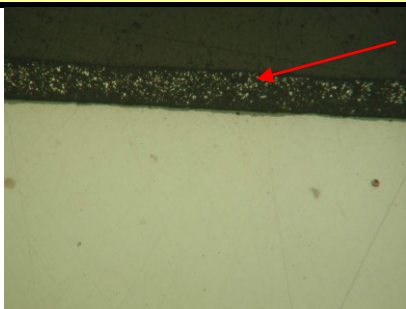
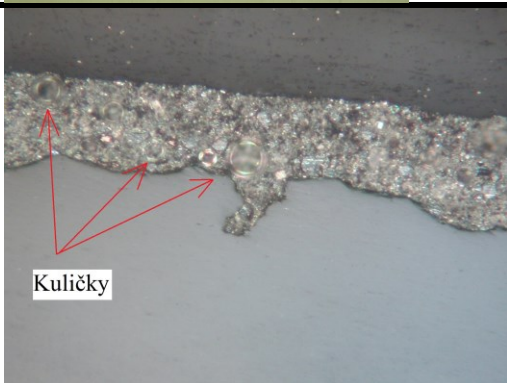
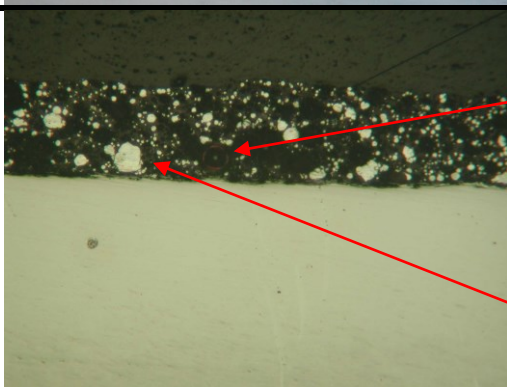


## 8.6 Hodnocení mikrosnímků metalografických výbrusů

Mikrosnímky metalografických výbrusů nátěrových systémů byly vyfoceny na světelném mikroskopu NEOPHOT 2.


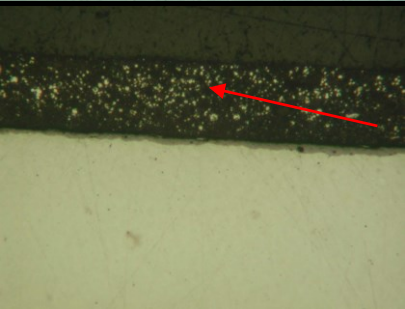
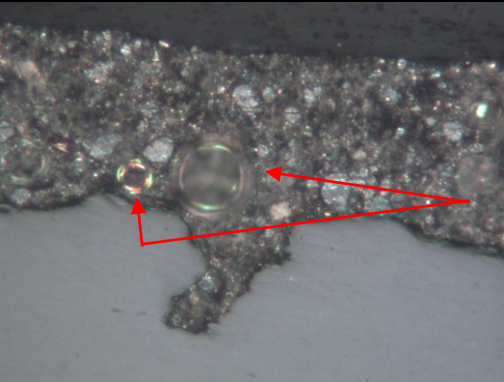
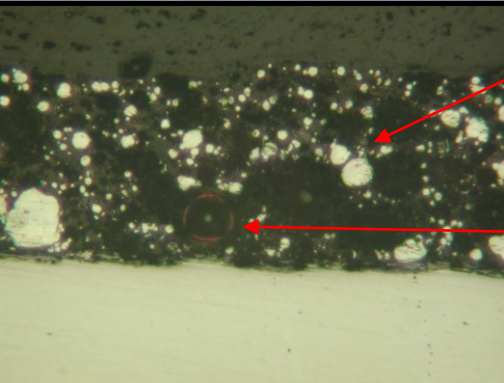
Nejprve byly odebrány vzorky řezačím strojem. Poté byly vzorky zality do dentakrylu a následně broušeny a leštěny dokud nebyla dosažena požadovaná kvalita povrchu.

Tabulka 18: Mikrosnímky nátěrových systémů. Zvětšení 100x

Vzorek	Mikrosnímek nátěrového systému	
1RB		Zinkový prach ← Hempadur Zinc 17360  ← Podkladový materiál
1OTN		← Dentakryl ← Hempadur AvantGuard 750  ← Podkladový materiál
1RBN		Dutá skleněná kulička  Zinkový prach



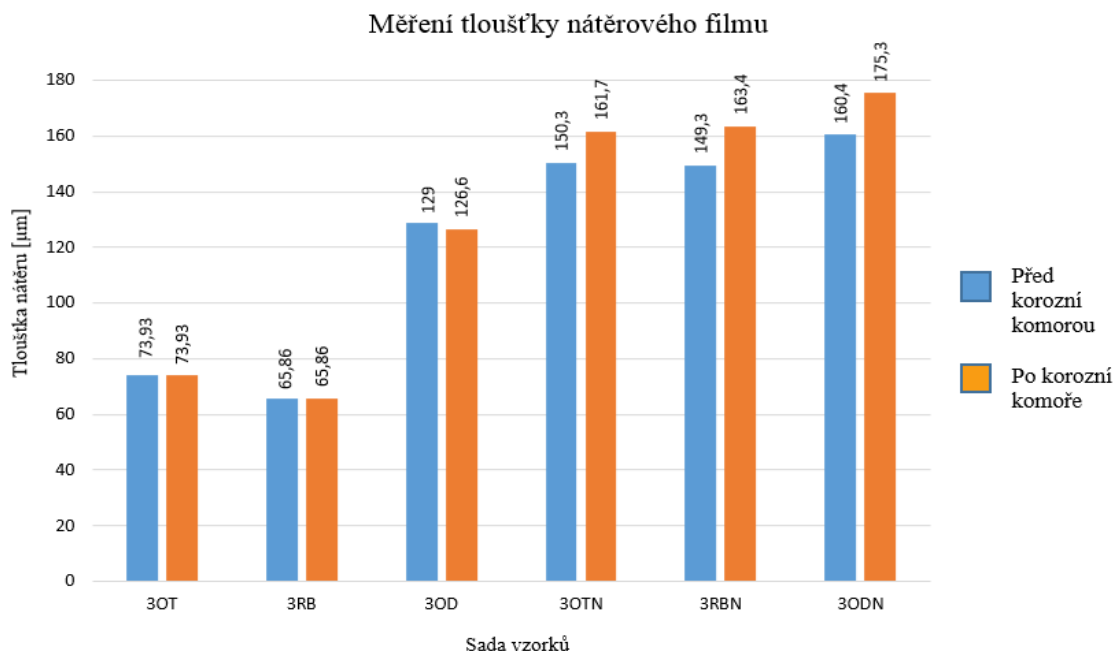
*Tabulka 19: Mikrosnímky nátěrových systémů. Zvětšení 200x*

Vzorek	Mikrosnímek nátěrového systému	
1OT		← Dentakryl ← Hempadur Zinc 17360 ← Podkladový materiál
1RB		Zinkový prach
1OTN		← Dentakryl ← Hempadur AvantGuard 750 Duté skleněné kuličky ← Podkladový materiál
1RBN		Zinkový prach Dutá skleněná kulička

## 9. Vyhodnocení zkoušek a měření

### 9.1 Vyhodnocení měření tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808)

V Grafu 1 je znázorněno porovnání měření tloušťky nátěrového filmu před a po exponování vzorků v umělém korozním prostředí. Z grafu je dobře patrný rozdíl mezi testovanými nátěrovými hmotami. Zatímco u nátěrové hmoty Hempadur Zinc 17360, se tloušťka nátěru téměř nezměnila, nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 750 změnila tloušťku filmu průměrně o 13,47  $\mu\text{m}$ .

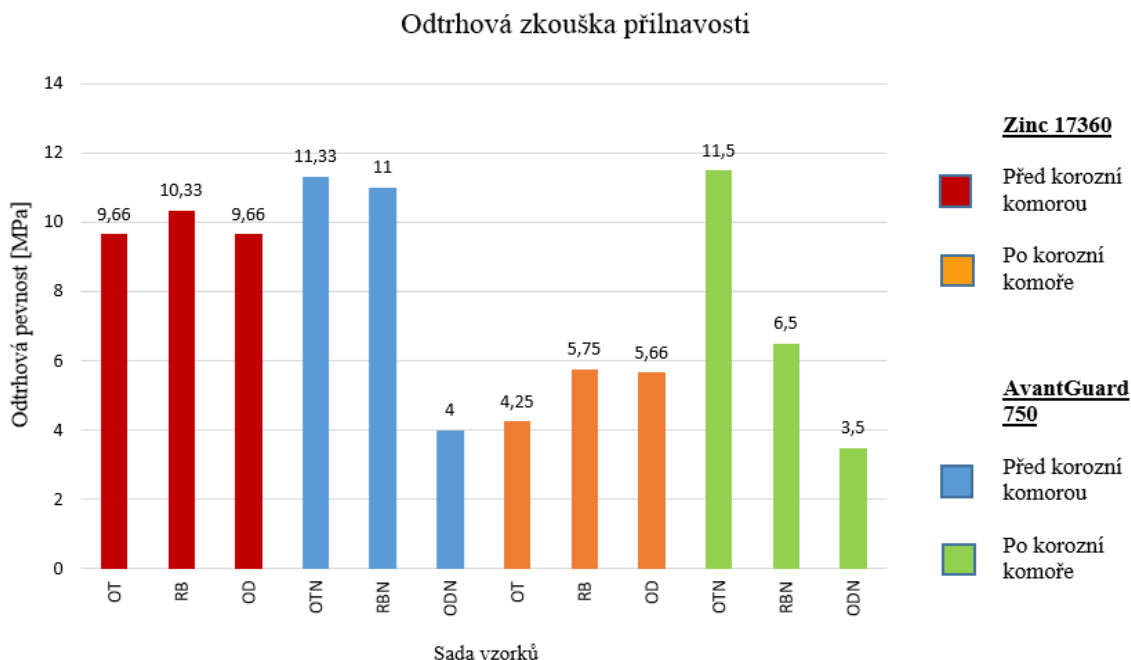


*Graf 1: Porovnání tloušťky nátěrového filmu před a po zkoušce solnou mlhou*

### 9.2 Vyhodnocení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1

V Grafu 2 jsou porovnány průměrné hodnoty výsledků odtrhové zkoušky přilnavosti. Nejlepších výsledků dosahovaly vzorky ze sady OTN. Tyto vzorky dosahovaly srovnatelných hodnot jak před zkouškou v korozní komoře, tak po ní. Vzorky sady RBN dosahovaly velmi dobrých výsledků před zkouškou v korozní komoře. Po provedení zkoušky, však došlo k rapidnímu poklesu velikosti potřebné síly k odtržení nátěru od podkladového materiálu.

Vzorky sady ODN v odtrhové zkoušce přilnavosti nedosahovaly uspokojivých výsledků. Sady vzorků OT, RB a OD, vykazovaly dobré hodnoty před zkouškou v korozní komoře, ale po provedení této zkoušky došlo k výraznému snížení odtrhové síly.

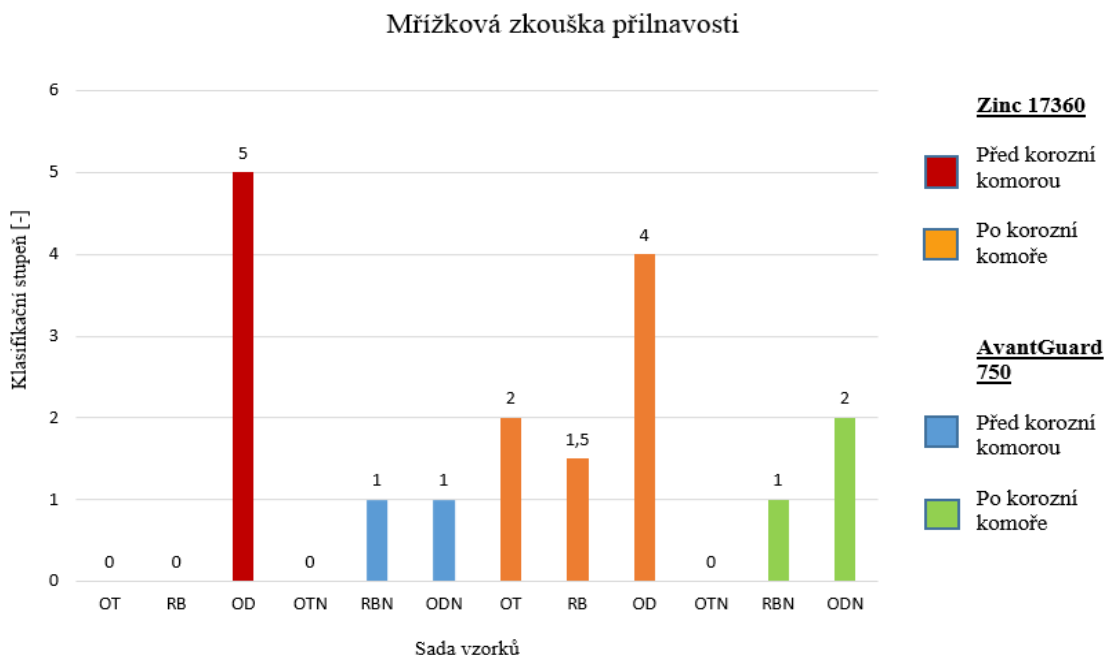


*Graf 2: Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky*

### 9.3 Vyhodnocení mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Nejmenšího průměrného poškození dosahuje nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 750 nastříkaná na sadě vzorků OTN. V případě těchto vzorků nebyly patrné žádné známky špatné přilnavosti nátěru jak před zkouškou v korozní komoře, tak po ní. Zbylé sady (RBN, ODN) nastříkané touto nátěrovou hmotou vykazovaly mírné odlupy v místech křížení řezů.

Nejhorší průměrné poškození odpovídá sadě vzorků OD. Zde docházelo k odlupování téměř celého povlaku v testované oblasti jak před korozní zkouškou, tak po této zkoušce. Průměrné hodnoty zkoušky jsou znázorněny v Grafu 3.



*Graf 3: Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky*

## 9.4 Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2

U zkoušky křížovým řezem nejlepších výsledků osáhla sada vzorků OTN. U sady vzorků OD a ODN docházelo k odlupování a odpadávání nátěrového filmu téměř po celém zkušebním řezu. Sady vzorků RB a RBN vykazovaly jen velmi malé odlupování podél řezu a v jejich průsečíku.



*Graf 4: Průměrné hodnoty zkoušky křížovým řezem*

## 10. Závěr

Bakalářská práce se věnovala porovnání tradiční epoxid-zinkové nátěrové hmoty s nově vyvinutou epoxid-zinkovou nátěrovou hmotou obsahující technologii AvantGuard®.

V teoretické části jsem popisoval klasifikaci vnějšího prostředí a s ním spojenou korozi, její dělení a druhy. Dále jsem se zabýval ochranou proti korozi organickými povlaky resp. nátěrovými hmotami a popsal nově vyvinutou generaci nátěrových hmot s obsahem zinkového prachu. Následně jsem popsal úpravu povrchu materiálu před aplikací nátěrových hmot a potom vhodné metody pro aplikování hmot použitých v experimentech.

V experimentální části bakalářské práce jsem tedy pracoval se dvěma základními protikorozními nátěrovými hmotami od firmy Hempel. Jedná se o nátěrové hmoty Hempadur Zinc 17360 a Hempadur AvantGuard 750. Tyto nátěrové hmoty byly aplikovány na tři sady po šesti vzorcích s odlišně upraveným povrchem. Podkladový materiálem byla ocel typu KOSMALT E 300T. První sada vzorků byla pouze odmaštěna, druhá ručně broušena a třetí mechanicky otryskána na čistotu povrchu S½. Jako první z řady zkoušek a měření byla změřena drsnost povrchu (ČSN EN ISO 4287) na referenčním vzorku z každé sady. Poté byla na referenčních vzorcích změřena výška kotvícího profilu. Jako poslední metoda měření byla stanovena tloušťka suchého nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808). Po metodách měření byl jeden vzorek z každé sady exponován v korozní komoře, kde proběhla korozní zkouška v umělé atmosféře tzv. zkouška solnou mlhou (ČSN ISO 9227). Na zbylých vzorcích byly mezitím vykonány destruktivní zkoušky přilnavosti nátěrového filmu a to odtrhová zkouška přilnavosti (ČSN EN ISO 16276-1), mřížková zkouška přilnavosti (ČSN ISO 16276-2) a zkouška přilnavosti křížovým řezem (ČSN ISO 16276-2). Tyto zkoušky, včetně měření tloušťky nátěrového filmu, byly provedeny i po vyjmutí vzorků z korozní komory.

Z naměřených hodnot jednotlivých zkoušek a měření jsem vytvořil srovnávací grafy testovaných nátěrových hmot. Z těchto grafů je patrné, že nejlepší adhezní a protikorozní vlastnosti vykazuje nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 750 aplikovaná na sadě vzorků s označením OTN, tedy vzorky s otryskaným povrchem. Nejhorší mechanické a protikorozní vlastnosti projevila nátěrová hmota Hempadur Zinc 17360 nanesená na vzorku ze sady s označením OD, vzorky s odmaštěným povrchem.



Nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 750 s novou technologií AvantGuard® v průběhu zkoušek projevila kvalitnější adhezní a protikorozi vlastnosti než hmota Hempadur Zinc 17360 s tradičními mechanismy ochrany. Podle výsledků zkoušek se nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 750 jeví jako lepší z testovaných nátěrových hmot.

## Literatura

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 150 s. ISBN 80-707-8953-0.
- [2] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 218 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [3] Němcová, A., Pacal, B.: *Korozní zkoušení kovových materiálů*. [online]. 2010 [cit. 2015-01-09 ve 22.45 hod.]. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/oporakoroze4/k2.html#2>>.
- [4] NOVÁK, Pavel, Jaroslav BYSTRANSKÝ a Tomáš Prošek.: Multimediální projekt *Korozní inženýrství*. [online]. [cit. 2015-1-24 ve 22.35 hod.]. Dostupné z WWW: <[http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_elch\\_em.htm#KO](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_elch_em.htm#KO)>.
- [5] ČSN EN ISO 12944-3: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 3: Navrhování*. Český normalizační institut, Praha, 1999, 20 s.
- [6] ČSN EN ISO 12944-5: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. Český normalizační institut, Praha, 2008, 36 s.
- [7] KREJČÍ, Stanislav.: *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí technických zařízení pomocí nátěrových systémů a ISO normy*. [online]. [cit. 2015-1-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.tlakinfor.cz/t.py?t=2&i=1933>>.
- [8] Jirásek, J., Vavro, M.: *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [9] ČSN EN ISO 8501-1:2007: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Český normalizační institut, Praha, 2007, 15 s.
- [10] *Předúprava ocelových povrchů*. [online]. [cit. 2015-1-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.chedo.cz/kat/Preduprava--ocelovych---povrchu-440/>>.
- [11] *Výběr stříkacího zařízení nátěrových hmot*. [online]. [cit. 2015-1-29]. Dostupné z WWW: <http://www.naseinfo.cz/clanky/stavby-a-stavebnictvi/naradi/vyber-strikaciho-zarizeni-naterovych-hmot>
- [12] ČSN EN ISO 12944-2: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. Český normalizační institut, Praha, 1998, 16 s.
- [13] Siostrzonek, R.: *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava VŠB – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2007, 150 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.
- [14] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu : Profilová metoda. Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha : Český normalizační institut, 1999.

- [15] ČSN EN ISO 4628-2: *Nátěrové hmoty – hodnocení degradace nátěrů – klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [16] Litinová drť. In: *Tryskací materiály, abraziva* [online]. © Comprex. [vid. 2008]. Dostupné z: [http://www.comprexcz.cz/client\\_data/25/UserFiles/chilled-angle-iron-jpg\(2\).jpg](http://www.comprexcz.cz/client_data/25/UserFiles/chilled-angle-iron-jpg(2).jpg)
- [17] Ocelový granulát. In: *Tryskací materiály, abraziva* [online]. © Comprex. [vid. 2008]. Dostupné z: [http://www.comprexcz.cz/client\\_data/25/UserFiles/ocelovy-granulat-jpg.jpg](http://www.comprexcz.cz/client_data/25/UserFiles/ocelovy-granulat-jpg.jpg)
- [18] Ocelový sekaný drát. In: *Tryskací materiály, abraziva* [online]. © Comprex. [vid. 2008]. Dostupné z: [http://www.comprexcz.cz/client\\_data/25/UserFiles/Image/tryskacie%20materialy/sekany%20drot.jpg](http://www.comprexcz.cz/client_data/25/UserFiles/Image/tryskacie%20materialy/sekany%20drot.jpg)
- [19] Ocelová drť. In: *Tryskací materiály, abraziva* [online]. © Comprex. [vid. 2008]. Dostupné z: [http://www.comprexcz.cz/client\\_data/25/UserFiles/Image/tryskacie%20materialy/ocel%20drt%20zrno.jpg](http://www.comprexcz.cz/client_data/25/UserFiles/Image/tryskacie%20materialy/ocel%20drt%20zrno.jpg)
- [20] Elcometer 456. In: *M&L Testing Equipment* [online]. © Virtual Image [2015]. Dostupné z: [http://www.mltest.com/images/stories/elco\\_456\\_separate.jpg](http://www.mltest.com/images/stories/elco_456_separate.jpg)



## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma vzniku bludného proudu na stejnosměrně elektrizované železnici [4] ....	13
Obr. 2: Rovnoměrná koroze [3] .....	14
Obr. 3: Důlková koroze [3] .....	14
Obr. 4: Bodová koroze [3].....	15
Obr. 5: Mezikrystalová koroze [3] .....	15
Obr. 6: Transkrystalová koroze [3] .....	16
Obr. 7: Uspořádání svarů [5].....	26
Obr. 8: Zajištění spár průběžným svarem [5].....	26
Obr. 9: Nepřerušný profil [5].....	26
Obr. 10: Spojení ocel-beton [5].....	27
Obr. 11: Vyloučené ostrých hran [5].....	27
Obr. 12: Potlačení povrchových vad svarových spojů .....	28
Obr. 13: Ocelová drť [19] .....	30
Obr. 14: Ocelový granulát [17] .....	30
Obr. 15: Sekaný drát [18].....	30
Obr. 16: Litinová drť [16] .....	30
Obr. 17: Schéma profilu drsnosti [13].....	35
Obr. 18: Sada ke stanovení kotvícího profilu.....	36
Obr. 19: Tloušťkoměr ELCOMETER 456 [20].....	36
Obr. 20: Korozní komora [13] .....	37
Obr. 21: Sada pro provedení odtrhové zkoušky .....	38
Obr. 22: Klasifikace mřížkové zkoušky [13] .....	39
Obr. 23: Klasifikace zkoušky křížovým řezem .....	40
Obr. 24: Povrch vzorku po odmaštění, zvětšení 80x.....	42
Obr. 25: Povrch vzorku po ručním broušení a odmaštění, zvětšený 100x.....	42
Obr. 26: Povrch vzorku po otryskání a odmaštění, zvětšený 100x .....	43
Obr. 27: Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360 .....	47
Obr. 28: Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360 .....	48
Obr. 29: Fotodokumentace vzorků vyjmutých po 100 hodinách z korozní komory, nátěrová hmota Hempadur Zink 17360.....	48
Obr. 30: Fotodokumentace vzorků vyjmutých po 100 hodinách z korozní komory, nátěrová hmota Hempadur AvantGuard 550 .....	48

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Stupně otryskání dle ČSN EN ISO 8501-1 [9].....	31
Tabulka 2: Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky [13] .....	39
Tabulka 3: klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem .....	40
Tabulka 4: Mechanické vlastnosti ocele KOSMALT E 300T.....	41
Tabulka 5: Chemické složení ocele KOSMALT E 300T .....	41
Tabulka 6: Značení jednotlivých vzorků .....	43
Tabulka 7: Značení sad vzorků.....	43
Tabulka 8: Nastavení přístroje Mitutoyo Surftest SJ -301 .....	45
Tabulka 9: Drsnost povrchu podkladových materiálů .....	45
Tabulka 10: Stanovení kotvícího profilu .....	46
Tabulka 11: Hodnoty tloušťek suchého nátěru .....	46
Tabulka 12: Vyhodnocení korozní zkoušky dle ČSN EN ISO 4628-2, 3, 8 .....	47
Tabulka 13: Tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře .....	49
Tabulka 14: Výsledky odtrhové zkoušky pro nátěrovou hmotu Hempadur Zink 17360 včetně fotodokumentace .....	50
Tabulka 15: Výsledky odtrhové zkoušky pro nátěrovou hmotu Hempadur AvantGuard 550 včetně fotodokumentace .....	51
Tabulka 16: Výsledky měření přilnavosti mřížkovou zkouškou včetně fotodokumentace .....	52
Tabulka 17: Výsledky měření přilnavosti křížovým řezem včetně fotodokumentace .....	53
Tabulka 18: Mikrosnímky nátěrových systémů. Zvětšení 100x.....	54
Tabulka 19: Mikrosnímky nátěrových systémů. Zvětšení 200x .....	55



## Seznam grafů

Graf 1: Porovnání tloušťky nátěrového filmu před a po zkoušce solnou mlhou .....	56
Graf 2: Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky .....	57
Graf 3: Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky .....	58
Graf 4: Průměrné hodnoty zkoušky křížovým řezem .....	58



## Seznam příloh

- Příloha A**      Údajový list nátěrové hmoty HEMPADUR Zink 17360
- Příloha B**      Údajový list nátěrové hmoty HEMPADUR AvantGuart 550

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Renému Siostrzonkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a možnost vypracovat bakalářskou práci pod jeho vedením. Zejména děkuji své rodině, za velkou podporu po celou dobu mého studia.